

MÉXICO 2010



**GOBIERNO
FEDERAL**

SAGARPA

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias



Manejo sustentable de los recursos naturales: Sierra de Lobos, León, Guanajuato

Dr. Juan Estrada Ávalos, M. C. Ramón Trucíos Caciano,
Dr. José Villanueva Díaz, Dr. José Luis González Barrios y
Dr. Luis Fernando Flores Lui

CENID-RASPA

Gómez Palacio, Dgo. Diciembre del 2010
Libro Técnico 6

Serie: MX-0-250503-20-10-00-06-06

ISBN: 978 - 607 - 425 - 422 - 8

25 Aniversario
Ciencia y Tecnología
para el Campo Mexicano



Vivir Mejor

DIRECTORIO INSTITUCIONAL

SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN

Lic. Francisco Javier Mayorga Castañeda
Secretario

MC. Mariano Ruíz-Funes Macedo
Subsecretario de Agricultura

Ing. Ignacio Rivera Rodríguez
Subsecretario de Desarrollo Rural

Dr. Pedro Adalberto González Hernández
Subsecretario de Fomento a los Agronegocios

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

Dr. Pedro Brajcich Gallegos
Director General

Dr. Salvador Fernández Rivera
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

M.C. Arturo Cruz Vázquez
Encargado del Despacho de la Coordinación de Planeación y Desarrollo

Lic. Marcial A. García Morteo
Coordinador de Administración y Sistemas

Lic. Ricardo Noverón Chávez
Director General Adjunto de la Unidad Jurídica

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DISCIPLINARIA RELACIÓN AGUA-SUELO-PLANTA-ATMÓSFERA

Dr. José Antonio Cueto Wong
Director

Manejo sustentable de los recursos naturales: Sierra de Lobos, León, Guanajuato

Editores:

Dr. Juan Estrada Ávalos
M. C. Ramón Trucíos Cacioano
Dr. José Villanueva Díaz
Dr. José Luis González Barrios
Dr. Luis Fernando Flores Lui



CENID - RASPA

2010

**Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,
Agrícolas y Pecuarias**

Progreso N°. 5, Barrio de Santa Catarina
Delegación Coyoacán, C. P. 04010 México D. F.
Teléfono (55) 3871-8700

ISBN: 978 - 607 - 425 - 422 - 8

Primera Edición 2010

Derechos Reservados ©

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de la Institución.

PRESENTACIÓN

El desarrollo social y económico sustentable de cualquier región, solo es posible si se conduce acompañado de las estrategias apropiadas e integrales de manejo de los recursos naturales a nivel de cuenca hidrológica. Actualmente, la cantidad y calidad del agua disponible para satisfacer la creciente demanda de la población y de las actividades industriales, agrícolas y comerciales, cada día es más limitada. El cambio de uso del suelo en las áreas forestales por causas asociadas a la presión económica y demográfica ocasiona deterioro y erosión que afectan presas y acuíferos. El volumen de agua residual que se genera en las zonas urbanas aumenta en la medida en que la población se incrementa, con la consecuente amenaza de contaminación del agua subterránea y de los suelos agrícolas.

En este contexto, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias presenta esta contribución a los habitantes del municipio de León y del Área Natural Protegida *Sierra de Lobos*, así como a las comunidades académica y científica de México, esperando que en el futuro, el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales sea tema de investigación en todas las regiones ecológicas.

La presente publicación es el resultado de dos años de trabajo de un grupo de investigadores del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera de INIFAP. El diagnóstico de los recursos naturales se efectuó con la aplicación de tecnologías de sistemas de información geográfica, dendrocronología de la precipitación pluvial, determinación de la edad del agua subterránea y análisis multicriterio de las posibles acciones dirigidas a corregir o prevenir el deterioro de los recursos naturales agua, suelo y vegetación.

Dr. José Antonio Cueto Wong
Director CENID-RASPA

PRÓLOGO

La información que contiene este documento es el resultado del estudio realizado en el municipio de León y el Área Natural Protegida *Sierra de Lobos*, Guanajuato, tienen como propósito mostrar en forma sistemática la metodología aplicada para efectuar el diagnóstico del nivel de sustentabilidad con que se aprovechan los recursos agua, suelo y vegetación, y presentar un procedimiento de apoyo que permite determinar las acciones correctivas que se deben tomar.

En el proceso de diagnóstico se elaboró un sistema de información geográfica del área de estudio, el cual se detalla en el CD de archivos anexos, los principales elementos que integran la hidrología superficial y subterránea, el uso del suelo y la vegetación. La información anterior se complementó con el análisis socioeconómico de los habitantes y de la productividad del agua en las actividades comercial, industrial y agrícola.

El análisis histórico de la precipitación a través de la dendrocronología, permitió determinar los periodos de sequía y humedad que se han presentado en la región y la relación que tienen con los fenómenos globales El Niño y El Monzón de Norteamérica. La edad del agua en el subsuelo, reciente o antigua, se utilizó como indicador de las zonas de recarga del acuífero de León que es la principal fuente de agua del área urbana y de las actividades industrial y agrícola. Así como las áreas en las que es posible utilizar aguas residuales sin riesgo de contaminación del agua subterránea.

La clasificación de los suelos con base en el origen geomorfológico y el uso actual de este recurso en el área natural protegida de la *Sierra de Lobos*, se realizó con apoyo de imágenes de satélite y fotografía aérea. Se determinaron los cambios de uso y las áreas erosionadas por efecto de las actividades que se desarrollan en el área.

El aprovechamiento sustentable y la conservación de los recursos forestales son fundamentales para mantener el equilibrio ecológico en la cuenca alta y el valle de León. Con apoyo de imágenes y clasificación supervisada se identificaron las unidades forestales que se encuentran en los diferentes niveles altitudinales en la *Sierra de Lobos*. Se identificaron las especies forestales nativas y la superficie potencial para reforestación de cada una de ellas.

El manejo integrado de los recursos naturales en una región determinada, implica la implementación de acciones correctivas o preventivas que con frecuencia se ven limitadas por las posiciones divergentes de los involucrados en la toma de decisiones. El análisis multicriterio de un conjunto de acciones permite determinar y jerarquizar en forma consensuada el curso que se debe dar a las mismas en función del beneficio colectivo.

Con base en el diagnóstico de los recursos agua, suelo y vegetación, así como de la situación socioeconómica de la población en el valle de León y el área natural protegida de la *Sierra de Lobos* y la participación de productores, instituciones de investigación y educación y de autoridades de los tres niveles de gobierno, se construyó una matriz de decisión en la que se incluyeron las opciones de solución a los problemas y los criterios económicos, técnicos, sociales y ambientales que determinan la efectividad de cada una de las soluciones propuestas.

Este documento es una guía para estudios futuros sobre el manejo integrado de los recursos naturales que se lleven a cabo en otras regiones de México, aporta la descripción de los métodos de diagnóstico utilizados, identifica las posibles acciones correctivas y propone un procedimiento de análisis consensuado que da soporte a la toma decisiones sobre las acciones que se deban implementar para dar sustentabilidad a los recursos naturales.

Dr. Luis Fernando Flores Liu

INVESTIGADOR DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE CELAYA, GTO.

AGRADECIMIENTOS



COMISIÓN NACIONAL FORESTAL



Agradecemos el financiamiento otorgado a través de los Fondos Sectoriales del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), en su convocatoria S0002-2006-1 proyecto 33366 para la realización de los trabajos de investigación cuyos resultados son publicados en el presente libro.

De igual forma, reconocemos el compromiso de Coca-Cola FEMSA México por generar valor social y económico en todas las comunidades donde opera, participando con el financiamiento de la investigación reflejada en estas páginas. La suma de los actores involucrados ha beneficiado el enriquecimiento de la obra.

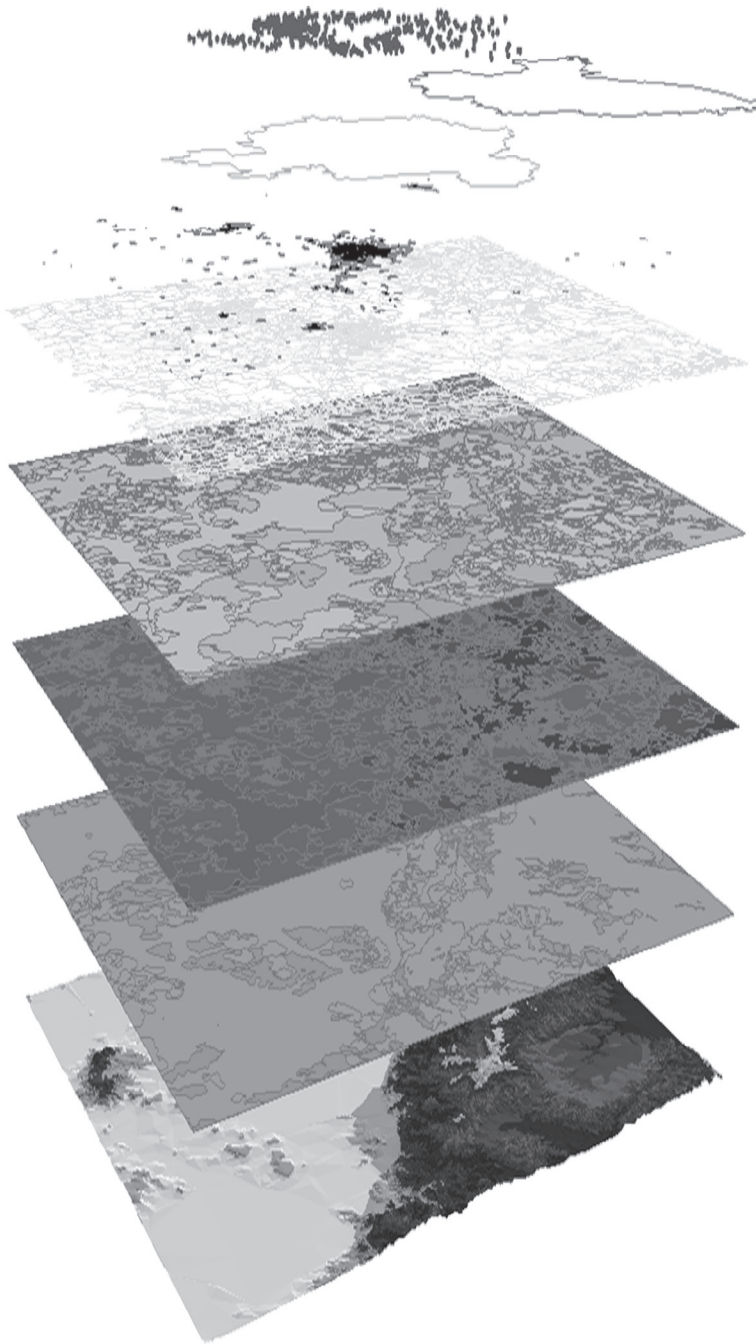
CONTENIDO

PRÓLOGO

PRESENTACIÓN

AGRADECIMIENTOS

I	Sistema de información geográfica	1
II	Aspectos socioeconómicos del uso del agua en el municipio de León, Guanajuato	35
III	Análisis histórico de la precipitación	55
IV	Datación de agua subterránea en el valle de León, Guanajuato.....	79
V	Variabilidad en espacio y dinámica en el tiempo del uso del suelo ...	109
VI	Dinámica y aprovechamiento de los recursos forestales en el área común Sierra de Lobos - León, Guanajuato	133
VII	Sistema de apoyo para toma de decisiones	165
	SÍNTESIS	189
	GLOSARIO.....	197



Ramón Trucíos Cacioano
Juan Estrada Ávalos
Roberto Paredes Melesio
José Luis González Barrios
Luis M. Valenzuela Núñez

CAPÍTULO I

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

INTRODUCCIÓN

Para desarrollar un Sistema de Información Geográfica (SIG) se utilizan herramientas de gran capacidad de procesamiento gráfico y alfanumérico: PC, scanner, sensores remotos, entre otros; dotadas de procedimientos y aplicaciones para captura, almacenamiento, análisis y visualización de la información (Moreno *et al.*, 2008). Lo anterior, ha permitido generar una amplia gama de capas temáticas como geología, edafología, uso de suelo y vegetación, hidrología superficial, hidrología subterránea, modelo digital de elevación, entre otras; para auxiliar la toma de decisiones en el manejo de recursos naturales.

Los SIG son un conjunto de procedimientos que se ejecutan sobre una base de datos no gráfica o descriptiva de objetos, tales como nombre, superficie, habitantes, calidad, etc., del mundo real que tienen una representación gráfica y son susceptibles a medición en forma y dimensión relativa a la superficie de la tierra. Además de la especificación no gráfica, los SIG cuentan también con una base de datos gráfica que incluye información georeferenciada o de tipo espacial y que tiene una estrecha relación con la base de datos descriptiva. Cualquier información se considera geográfica si es medible y tiene localización (Heywood *et al.*, 2006).

Un SIG es útil para capturar, almacenar, procesar, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada para dimensionar, jerarquizar y resolver problemas complejos de planificación y gestión del aprovechamiento integral de los recursos naturales (Dueker y Kjerne, 1989; Alonso, 2004; Moreno *et al.*, 2008), modelación de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestre (Theobald, 2000) o simplemente un sistema de cómputo capaz de mostrar y editar lugares en la superficie de la Tierra (ESRI, 1995). Los SIG han tenido un impulso en su desarrollo en los últimos 20 años y se han aplicado en diversas ramas de la ciencia, sin embargo, comenzaron a utilizarse como herramienta de mapeo y análisis en geografía en la década de los 60s en Canadá (Clarke *et al.*, 1996, Richards *et al.*, 1999). A partir de los 70s se desarrollaron rápidamente debido al surgimiento, accesibilidad y bajo costo de las minicomputadoras, el desarrollo de programas en sistema Windows y la amplia disponibilidad de mapas y otros recursos digitales. A partir de los 90s, los SIG se convierten en un campo de estudio multidisciplinario que contribuye en la planificación del desarrollo territorial con base en estudios geológicos, geohidrológicos, de uso del suelo y condiciones climáticas, entre otros (Clarke *et al.*, 1996).

Los SIG orientados al aprovechamiento integral de los recursos naturales deben integrar capas temáticas de información en el área de estudio (Thiruvengadachari, 2004 y Goodchild, 1993). Lo que permite referir las actividades a puntos administrativos y unidades de manejo ambiental, generar mapas sobre temas específicos, consultar la base de datos y desarrollar modelos dinámicos, como los utilizados para cambio de uso de suelo. Las capas temáticas consideradas en este estudio integran la información geoespacial relevante para la gestión de los recursos naturales en el valle de León y la Sierra de Lobos, Guanajuato, (Figura 1.1).

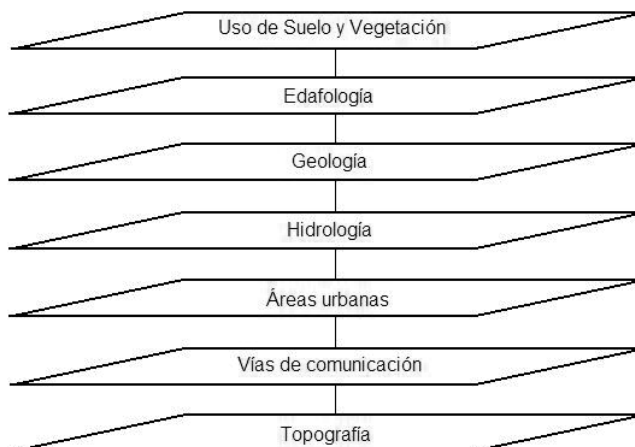


Figura 1.1. Capas temáticas utilizadas para la construcción del SIG en el valle de León y la Sierra de Lobos, Guanajuato, 2008.

Los SIG utilizan dos tipos de formatos para representar las capas temáticas: el tipo vector y el tipo raster. El formato vector (shape) posibilita tres tipos de objetos gráficos: puntos, que representan un par de coordenadas; líneas, que constituyen un segmento limitado por dos pares de coordenadas y áreas o polígonos, constituidos por la unión de segmentos de líneas. Los archivos en formato vector se obtienen de la digitalización de mapas. El formato raster representa imágenes gráficas como una matriz de celdas que contienen información de un atributo. Los archivos raster se pueden obtener de mapas escaneados, de fotografías aéreas y de imágenes de satélite (Molina, 2001). Cada uno de estos formatos son necesarios para el desarrollo del SIG debido a que nos permiten representar capas temáticas diferentes, por ejemplo: carreteras, límites de tipo de suelo, ubicación de pozos, a través de vectores; y modelo digital de elevación o imágenes a través de raster (O'sullivan y Unwin, 2003).

Este trabajo tuvo como objetivo conformar un conjunto de capas temáticas digitales, referidas geográficamente a la *Sierra de Lobos* y al municipio de León en Guanajuato, que establezcan de manera sólida una base para las demás disciplinas que se desarrollaron en el presente proyecto, abarcando temas relevantes para el manejo y gestión de los recursos naturales.

METODOLOGÍA

El procedimiento para construir un SIG consta de tres etapas fundamentales:

- Integración de la información: búsqueda de información de acuerdo a diferentes criterios temáticos y espaciales.
- Análisis de la información: es el elemento característico de un SIG: posibilita el procesamiento de la base de datos inicial para generar información adicional.
- Salida: representación gráfica y cartográfica de la información, muestra los resultados de las operaciones analíticas en forma de gráficos, tablas y mapas.

La utilidad de un sistema de información geográfica está relacionada con la capacidad de éste para construir modelos o representaciones del mundo real a partir de bases de datos digitales, esto se logra con la aplicación de procedimientos específicos a la información inicial que permiten generar más información. Los modelos de simulación son herramientas útiles para identificar y cuantificar los fenómenos o procesos que influyen significativamente sobre una tendencia específica (Barredo, 2005).

En el desarrollo de las actividades para generar el SIG del valle León y la *Sierra de Lobos*, se recopiló, evaluó, generó, procesó y almacenó una cantidad considerable de información cartográfica; por lo que fue necesario elaborar un procedimiento para la organización y documentación de la información que permitiera consultar de manera rápida y confiable las características de los datos contenidos en la cartografía digital del SIG, el cual se le denominó *metadato*.

Los metadatos son procedimientos altamente estructurados que describen el contenido, calidad, condición y otras características de la información. Generalmente son conocidos como la información de la información o *datos sobre datos* (INEGI, 2010).

Los principales usos de los metadatos son:

- Organizar y mantener el acervo de datos.
- Proporcionar información para catálogos de datos y centros de distribución de metadatos.
- Proveer información necesaria para interpretar y procesar datos transferidos por otra organización.

Los elementos que conforman los metadatos se predeterminan por los usuarios que deseen compartirlos y deben tener un significado preciso de cada elemento (IIRBH, 2010). El contenido de los metadatos geoespaciales puede ser:

- a) Identificación: título, área incluida, temas, actualidad, restricciones.
- b) Calidad de los datos: precisión, a qué nivel están completos, linaje.
- c) Organización de los datos espaciales: vector, raster, punto.
- d) Referencia espacial: proyección, datum (modelo matemático que permite representar un punto concreto de un mapa por medio de valores de coordenadas), sistemas de coordenadas.
- e) Distribución: distribuidor, formatos, medios, estatus, precio.
- f) Referencia: nivel de actualización, institución o persona responsable.

El SIG del municipio de León y la *Sierra de Lobos* se construyó con el objetivo de contar con información válida, interactiva y de fácil acceso sobre el agua, suelo y vegetación en apoyo a las instituciones y productores que participan en el manejo integral de estos recursos naturales.

Generación de mapas

La construcción de la base de datos del SIG se llevó a cabo en el Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias en Gómez Palacio, Durango, con el siguiente procedimiento: 1) Recopilación de información previamente generada, 2) Conversión digital de mapas, 3) Generación

de mapas temáticos y 4) Adición de metadatos a las capas generadas. La proyección utilizada para este estudio fue en base al sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) con datum NAD27, seleccionada por ser una proyección predeterminada en los programas utilizados ArcView®, ArcGIS® y AutoCAD®.

Recopilación de información

En Guanajuato, se cuenta con una gran cantidad de estudios realizados por el sector público y privado en el valle de León, los cuales se efectuaron con el propósito de atender problemas específicos relacionados con el agua subterránea, distribución de las unidades forestales y de la superficie Agrícola, entre otros. Se localizaron y clasificaron los estudios con suficiente sustento técnico y científico para ser considerados en este estudio. Se verificó la proyección con la cual se generó la información y en los casos en que no fue la misma que se utilizó en éste estudio se reproyectó en el programa ArcGIS® versión 9.2.

Conversión digital de mapas

Se utilizaron mapas impresos del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), se transformaron de formato físico (imagen en papel) a formato digital (imagen digital) con una definición de 400 – 600 puntos en formato tiff. Una vez teniendo las imágenes digitales, se localizaron 16 puntos de control en cada una para georeferenciar la imagen con base en las coordenadas UTM que en el caso de los mapas de INEGI ya están incluidas en las cartas escala 1:50,000. Con la georeferenciación realizada en el mapa, carta o imagen se digitalizaron los puntos, líneas o polígonos a través del programa ArcGIS® versión 9.2 principalmente con el uso de la herramienta *Editor* en donde también se le agregaron los atributos necesarios para cada tema digitalizado (Glennon *et al.*, 2004).

Generación de mapas temáticos

Se generó parte de la información en bases de datos referidos a coordenadas debido a que se obtuvieron de estudios de campo o investigaciones puntuales. Con esta información se generaron archivos de mapas electrónicos por medio del programa ArcGIS® versión 9.2 una vez definida la proyección en la cual se tomaron las coordenadas de cada punto (Harlow y Vienneau, 2003; Jones y McCoy, 2001). Es importante considerar la precisión de los puntos, ya que con frecuencia se obtienen con navegadores GPS (*Global Positioning System*) con precisión de 3 a 5 m. Por este motivo, la información se consideró con esta observación.

Adición de metadatos a las capas generadas

Los mapas, capas o imágenes digitales deben contar con información de origen y las modificaciones que se hayan hecho, debido a que estos pueden ser distintos al original o incluso haber sido modificados un sin número de veces y por tal motivo es necesario contar con metadatos que contengan: Fuente de información, fechas, ubicación espacial, origen e información de contacto (Harlow y Vienneau, 2003).

RESULTADOS

Sistema de información geográfica para el área de estudio. La información cartográfica digital como resultado de este trabajo se generó en formato de imagen para el caso de fotografías e imagen de

satélite, y vectorial (puntos, líneas o polígonos) para la información temática, ambos generados a través del Sistema de Información Geográfica ArcGIS® 9.2. La descripción del producto incluye la fuente de la información y escala de trabajo, esta información y su metodología de obtención está respaldada por su metadato incluido en el disco anexo a este ejemplar el cual tiene el nombre de la carpeta que contiene un mapa con definición de 300 dpi (puntos por pulgada) con la misma información de la imagen mostrada en el documento pero con mayor detalle y el mismo nombre corresponde al archivo del metadato en formato pdf.

Ortofotos digitales

Se utilizaron ortofotos digitales del INEGI generadas a partir de fotografías aéreas escala 1:40,000 a 1:75,000. Las ortofotos del área de estudio fueron: F14C31e, F14C31f, F14C32d, F14C32e, F14C32f, F14C41b, F14C41c, F14C41e, F14C41f, F14C42a, F14C42b, F14C42c, F14C42d, F14C42e, F14C51c, F14C51f, F14C52a, F14C52b. Posteriormente, se integró el mosaico de imágenes que cubre el área de estudio (Figura 1.2).

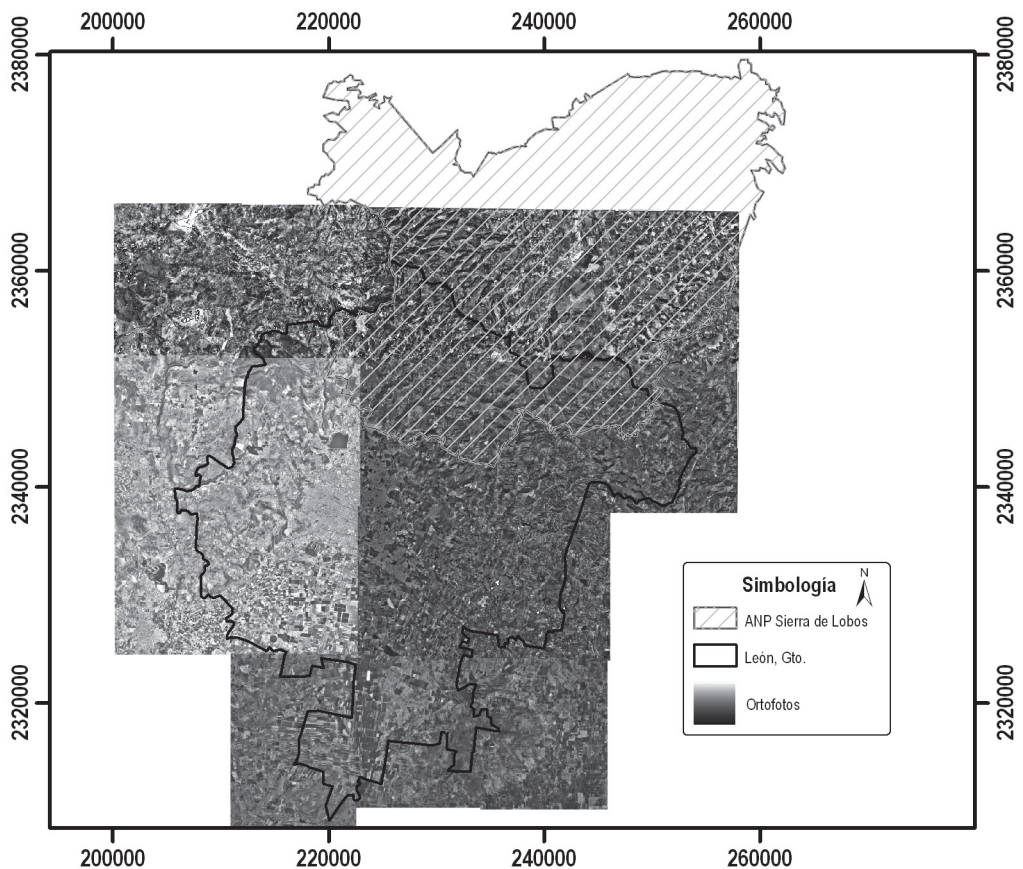


Figura 1.2. Mosaico de ortofotos del municipio de León y *Sierra de Lobos*, Guanajuato.

Imágenes de satélite

Se integraron imágenes del satélite SPOT (Sistema Para Observación de la Tierra) con resolución de píxel de 10 x 10 m las cuales fueron utilizadas como base para determinar el estado que guardan los recursos suelo y vegetación en el área de estudio (Figura 1.3). Estas imágenes fueron obtenidas mediante el convenio establecido entre SEMAR-SAGARPA-ASERCA en 2003 para la estación ERMEXS.

Las imágenes utilizadas fueron las siguientes:

- *Imagen: xs582-307E-03; pixel size: 10.0 E 10.0 N; Datum ellipsoid: WGS 84 (GPS); date: 13:32 16 Jan 2004.*
- *Imagen: xs582-307W-03; pixel size: 10.0 E 10.0 N; Datum ellipsoid: WGS 84 (GPS); date: 14:23 16 Jan 2004.*
- *Imagen: xs582-307-03; pixel size: 10.0 E 10.0 N; Datum ellipsoid: WGS 84 (GPS); date: 11:14 14 Jan 2004.*

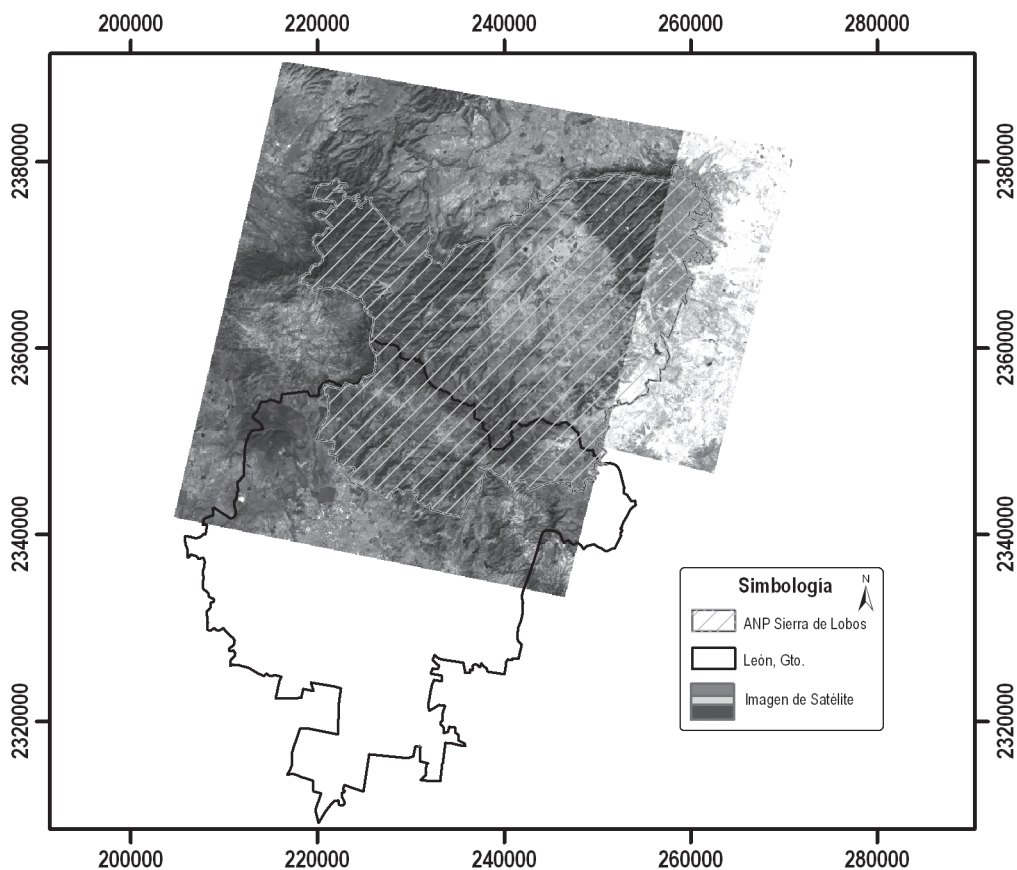


Figura 1.3. Mosaico de imágenes de satélite (2004) del municipio de León y la Sierra de Lobos, Guanajuato.

Fotos a color 1970

Se escanearon fotografías aéreas a color del área de estudio escala 1:25,000 tomadas en diciembre de 1970 por el INEGI y por medio de puntos de control se georeferenciaron en el plano horizontal con base en las ortofotos de 2003-2004 (Figura 1.4).

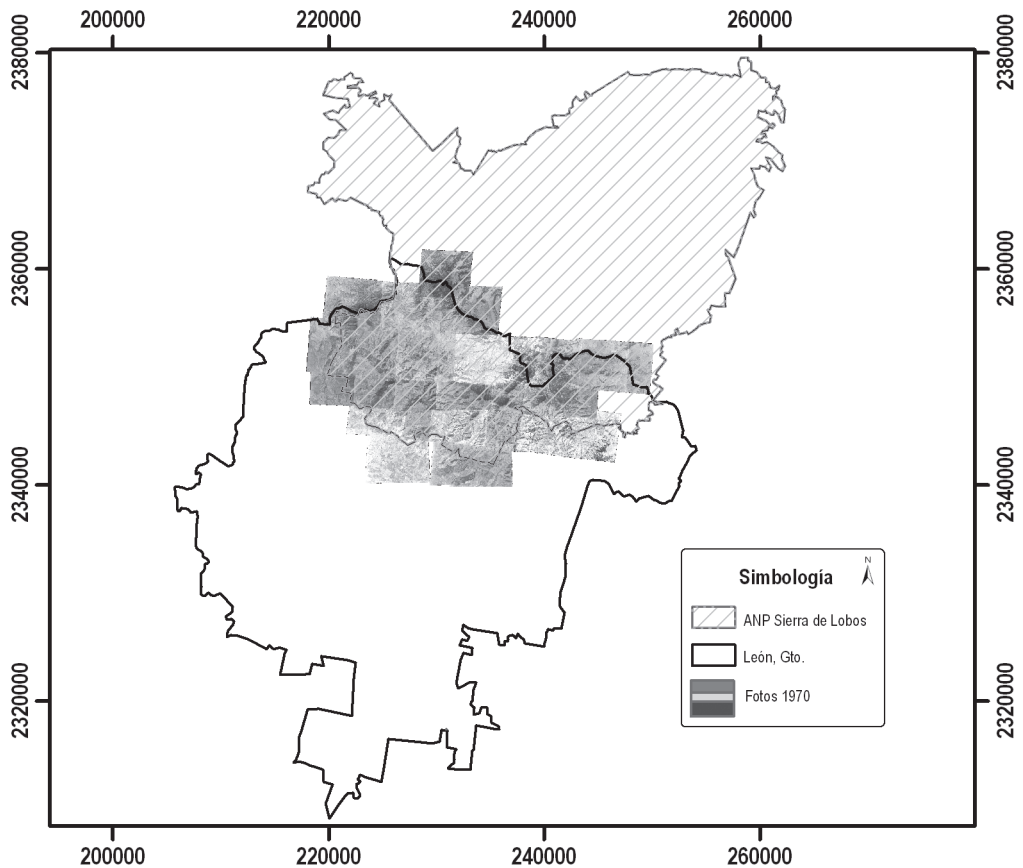


Figura 1.4. Mosaico de fotografías aéreas a color (1970) del municipio de León y *Sierra de Lobos*, Guanajuato.

Fotos multiespectrales 2007

En abril de 2007 se realizó un cubrimiento fotográfico aéreo de la zona norte del municipio de León y la sur del ANP *Sierra de Lobos*. Se utilizó una cámara con sensor multiespectral. Posteriormente, se elaboró el mosaico de imágenes que permitió determinar el estado actual de los recursos naturales en el área de estudio, que comparadas con las fotografías e imágenes de fechas anteriores permitió estimar los cambios en el uso de suelo y vegetación (Figura 1.5). Se enfatiza que dicho vuelo y toma de imágenes cumplen con el protocolo establecido por la Ley de Información Estadística e Informática (LIEG) así como la normatividad técnica para levantamientos aerofotográficos (INEGI, 2000a; Palma y Sánchez, 2005).

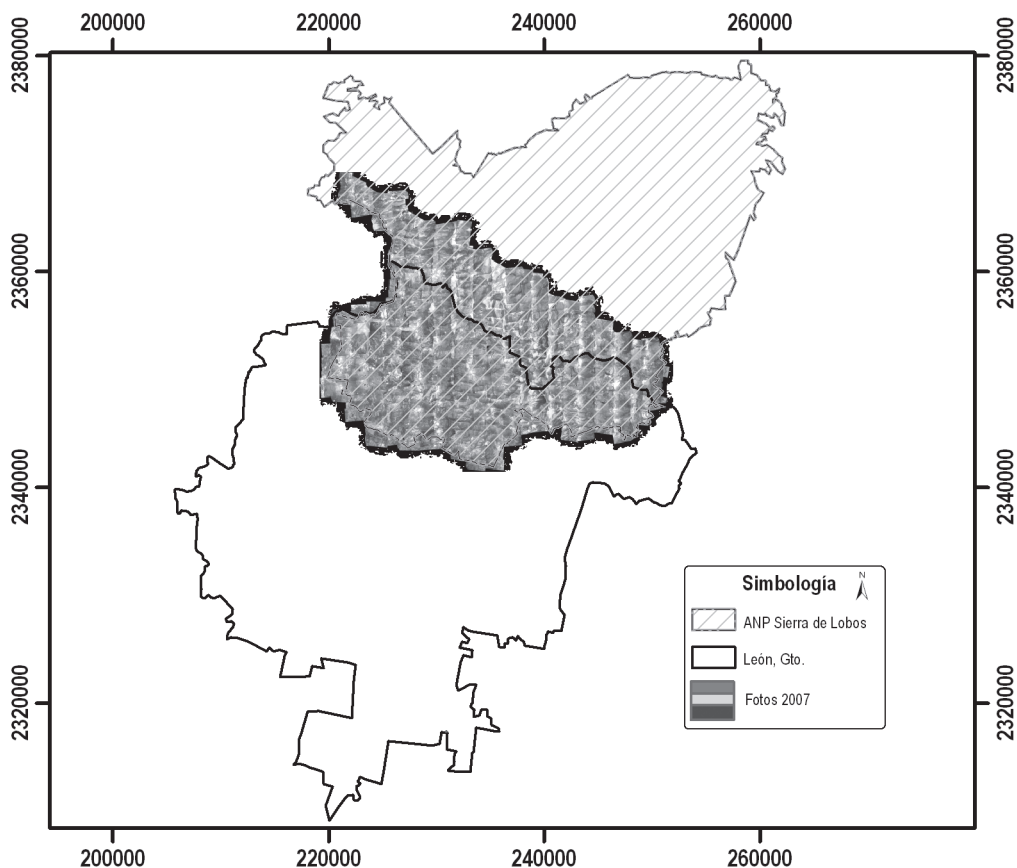


Figura 1.5. Mosaico de fotografías aéreas multiespectrales (2007) del norte del municipio de León y el área natural protegida del sur de la *Sierra de Lobos*, Guanajuato.

Modelo digital de elevación

El modelo digital de elevación (MDE) es un producto que genera el INEGI con base en las curvas a nivel de la carta topográfica 1:50,000 con intervalo de 50 m. Para obtener el MDE del área de estudio se utilizaron las cartas topográficas F14C31, F14C32, F14C41, F14C42, F14C51 y F14C52. Los modelos fueron recortados en sus bordes debido a que en los metadatos proporcionados por el INEGI se considera un área de confiabilidad que no presenta información deformada. Posterior al recorte se integró el mosaico para obtener en una sola imagen del MDE del área de estudio (Figura 1.6). Las dimensiones de este modelo son: Columnas, 1,358; renglones, 1,673; altitudes: máxima 2,870, mínima 1,717 y media 1,996 msnm.

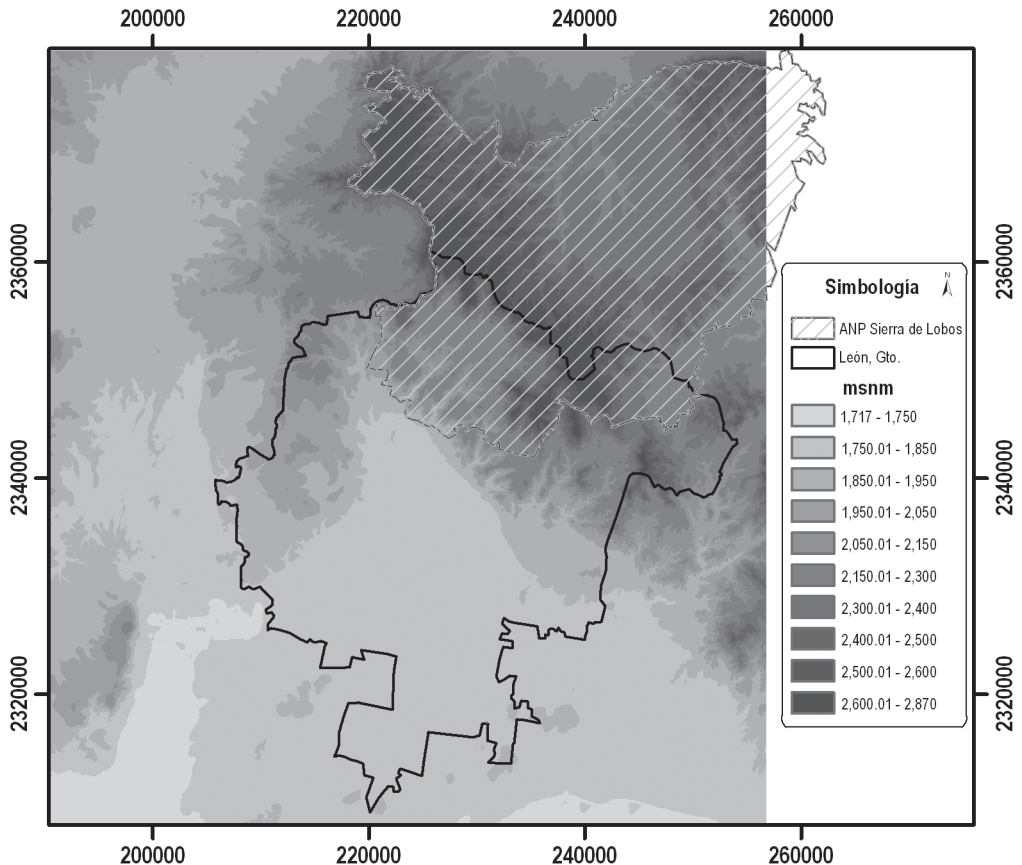


Figura 1.6. Mapa del modelo digital de elevación clasificado en diez rangos altitudinales. Municipio de León y Sierra de Lobos, Guanajuato.

Base de datos vectorial

Delimitación de la *Sierra de Lobos*

La delimitación de este polígono se efectuó con base en el contorno especificado en el decreto gubernativo No. 77 de fecha 4 de noviembre de 1997 publicado en el periódico oficial del estado de Guanajuato (SANPEG, 1997), mediante el cual se declara a la *Sierra de Lobos*, (ubicada en los municipios de León, San Felipe y Ocampo), como área natural protegida (ANP) en la categoría de área de uso sustentable con una superficie de 104,068 ha. En este decreto constan las coordenadas de 571 puntos (vértices) con los cuales se conformó el polígono (Figura 1.7).

Delimitación del municipio de León

Con base en las cartas topográficas 1:50,000 de INEGI: Lagos de Moreno (F14C31), Ibarra (F14C32), León (F14C41), Nuevo Valle de Moreno (F14C42), San Diego de Alejandría (F14C51), Silao (F14C52), se determinó el polígono de delimitación del municipio de León (Figura 1.7).

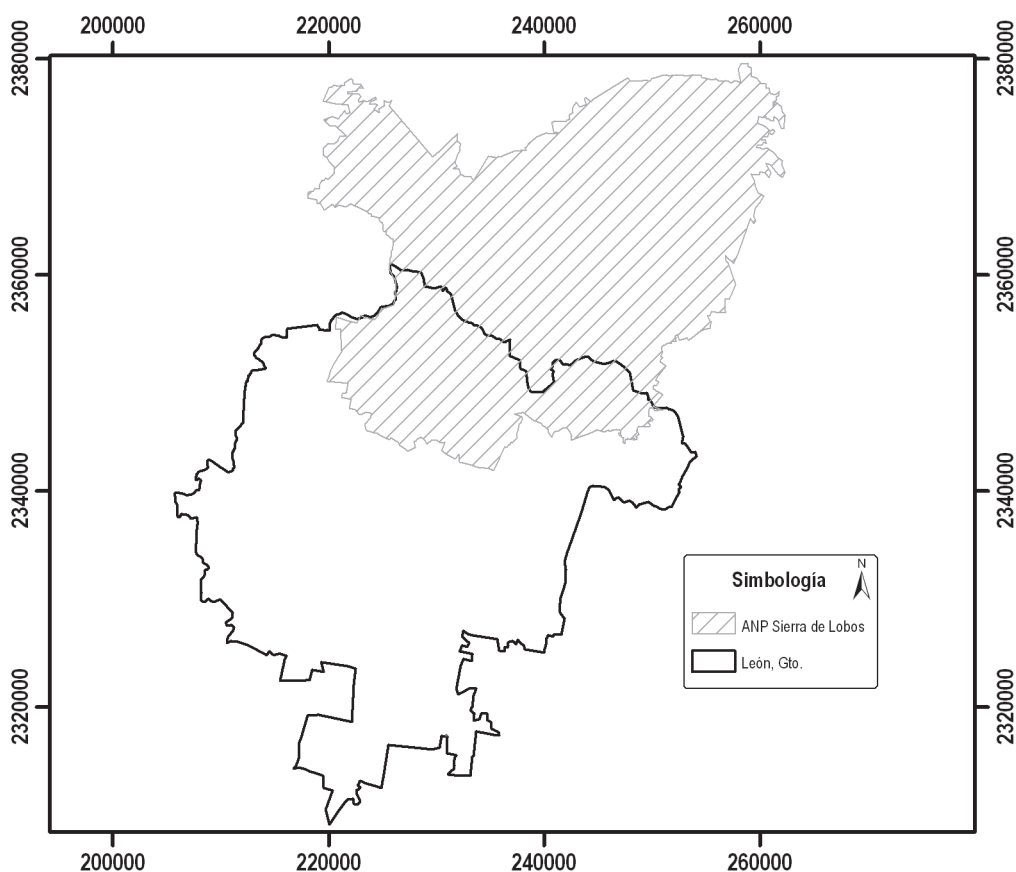


Figura 1.7. Polígonos de delimitación del municipio de León y el ANP *Sierra de Lobos*, Guanajuato.

Productos vectoriales

Son los polígonos, líneas o puntos que describen cada uno de los siguientes temas: área urbana, cuerpos de agua, hidrografía, caminos, aeropuertos, pozos profundos, ejidos, comunidades, región hidrológica, geología y edafología, elaborados a partir de las seis cartas topográficas escala 1:50,000 de INEGI anteriormente mencionadas, las cuales fueron unidas y reclasificadas. Para la interpretación de la información contenida en la carta topográfica se utilizó la guía de interpretación de cartografía (INEGI, 2005a). A continuación se describen las capas de este producto y se indica el nombre del archivo correspondiente (Figuras 1.8 y 1.9).

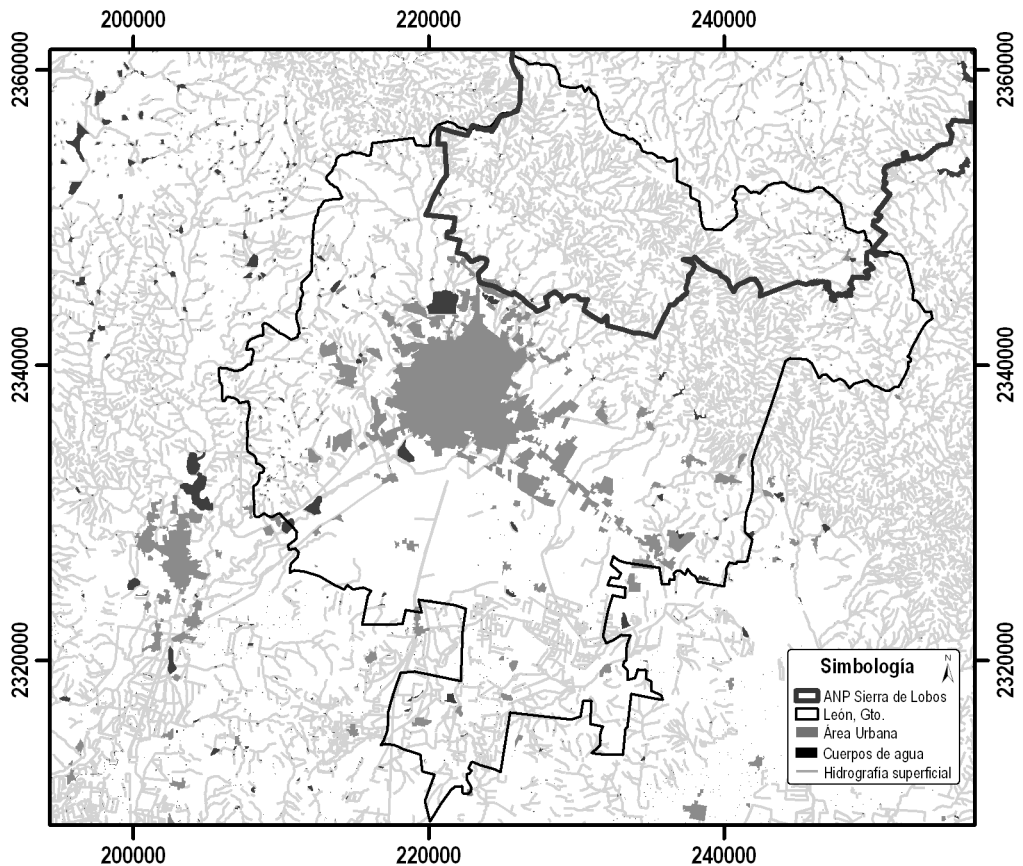


Figura 1.8. Mapa de productos vectoriales con capa de áreas urbanas, hidrología y cuerpos de agua. Valle de León y Sierra de Lobos, Guanajuato.

Áreas urbanas

Los polígonos de esta capa se sometieron a un proceso de actualización: se digitalizaron los polígonos aún no digitalizados, se depuró la información y se generó una capa con el nombre de las principales poblaciones, así como la superficie del área y el tipo de área urbana.

Cuerpos de agua

En forma similar a las áreas urbanas se actualizaron los polígonos correspondientes a los cuerpos de agua en el área de estudio y se clasificaron en intermitente, perenne y estanque regulador.

Hidrografía

Este producto consta de una sola capa de líneas que contiene información clasificada en dos categorías: Infraestructura hidráulica (conducción y almacenamiento) y escurrimientos superficiales (corrientes de agua intermitentes y permanentes que conforman la red de drenaje superficial).

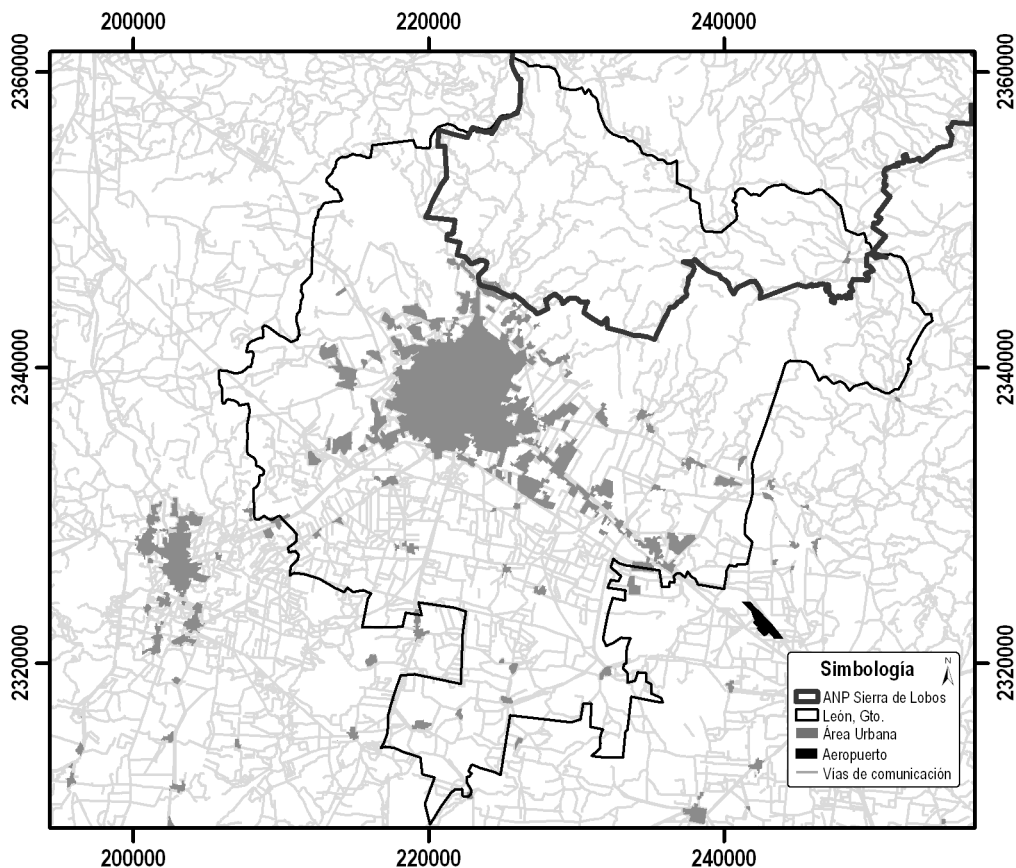


Figura 1.9. Mapa de productos vectoriales con capas de vías de comunicación y ubicación de aeropuerto. Valle de León y Sierra de Lobos, Guanajuato.

Caminos

Las vías de comunicación incluidas en esta capa están clasificadas en: calle, camino, carretera, línea de comunicación, puente o vía férrea.

Pistas de aterrizaje

En esta carpeta se muestran con localización y tamaño las seis pistas de aterrizaje en el área de estudio.

Pozos profundos

La base de datos contiene 1,169 registros de pozos obtenidos en el censo realizado en 1998 por la Comisión Nacional del Agua (CNA). La información que contiene es: localización del pozo (latitud, longitud), año de perforación, tipo de uso (abrevadero, agrícola, industrial, potable, recreativo, riego, sin uso), tipo de bomba, tipo de descarga, tiempo de bombeo al año, caudal (lps), entre otras. A partir de las coordenadas se ubicaron los pozos en el área de estudio, (Figura 1.10). Con base en el estudio realizado por la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Guanajuato en diciembre de 1998 (CEASG, 1998)) se generó el mapa de localización de pozos clasificados en: activos, inactivos, secos, tapados y en perforación. Este mapa fue georeferenciado y digitalizado para hacerlo compatible con el SIG utilizado en este estudio (Figura 1.10).

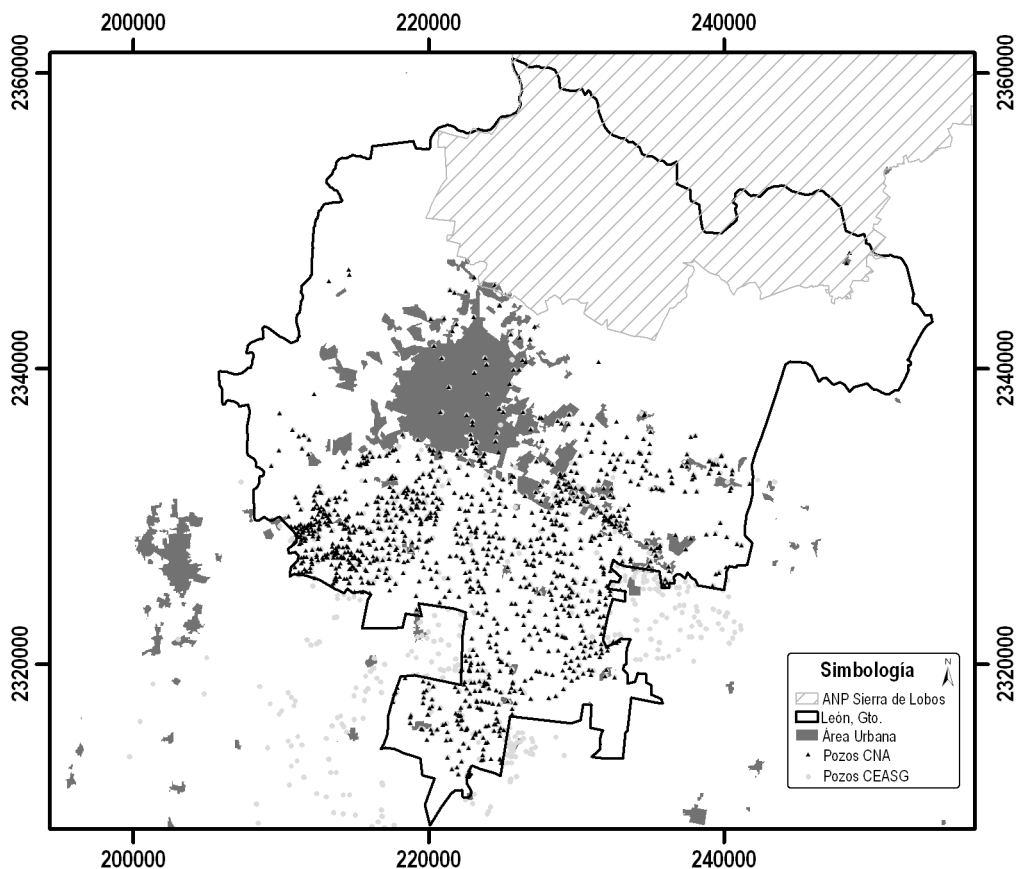


Figura 1.10. Localización y tipo de uso de pozos profundos en el valle de León, Guanajuato.

Pozos seleccionados para la datación del agua subterránea (fechado)

Los pozos profundos previamente seleccionados para el estudio de la edad del agua subterránea en el municipio de León se georeferenciaron para determinar la localización de cada uno y realizar el análisis espacial de las áreas de recarga del acuífero (Figura 1.11).

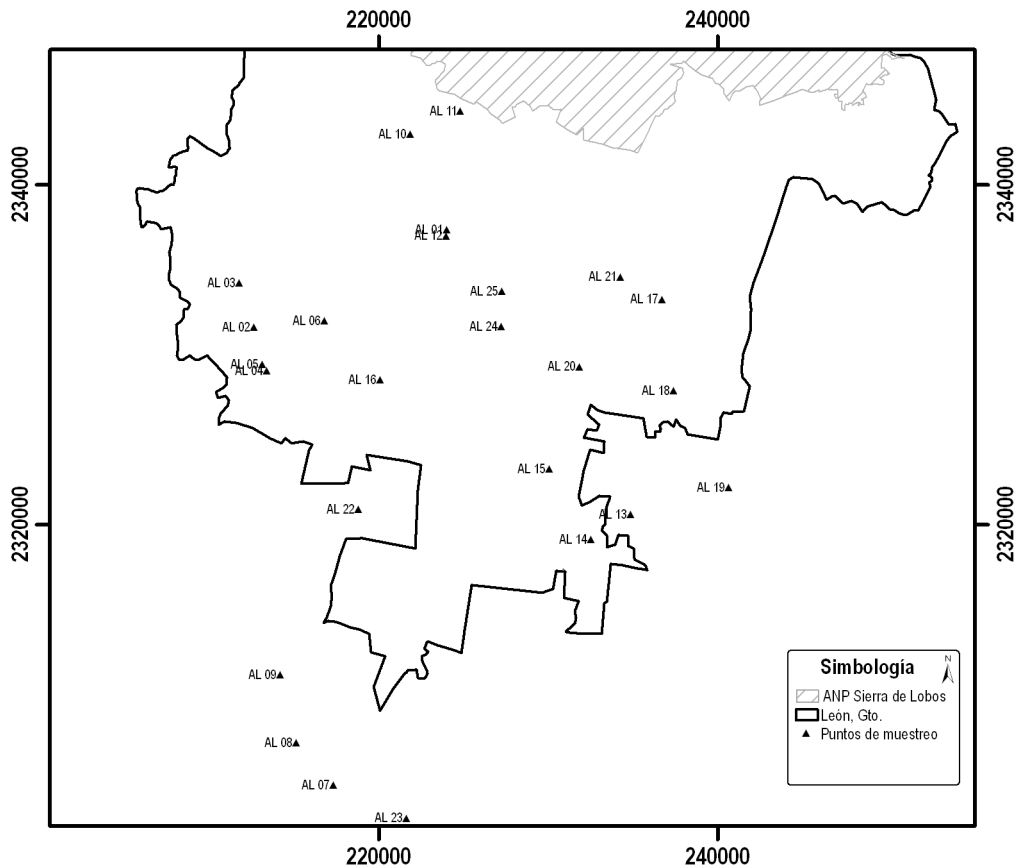


Figura 1.11. Ubicación de los pozos seleccionados para determinar la edad del agua subterránea en el valle de León, Guanajuato.

Delimitación de los ejidos incluidos en el estudio socioeconómico

Los polígonos de los 15 ejidos incluidos en el estudio socioeconómico se construyeron a partir de la información del Programa de Certificación de Derechos Ejidales del Registro Agrario Nacional para el estado de Guanajuato, seis de ellos ubicados en el área natural protegida *Sierra de Lobos* (cinco en el municipio de León y uno en San Felipe) y nueve en el área agrícola del valle de León (Cuadro 1.1 y Figura 1.12).

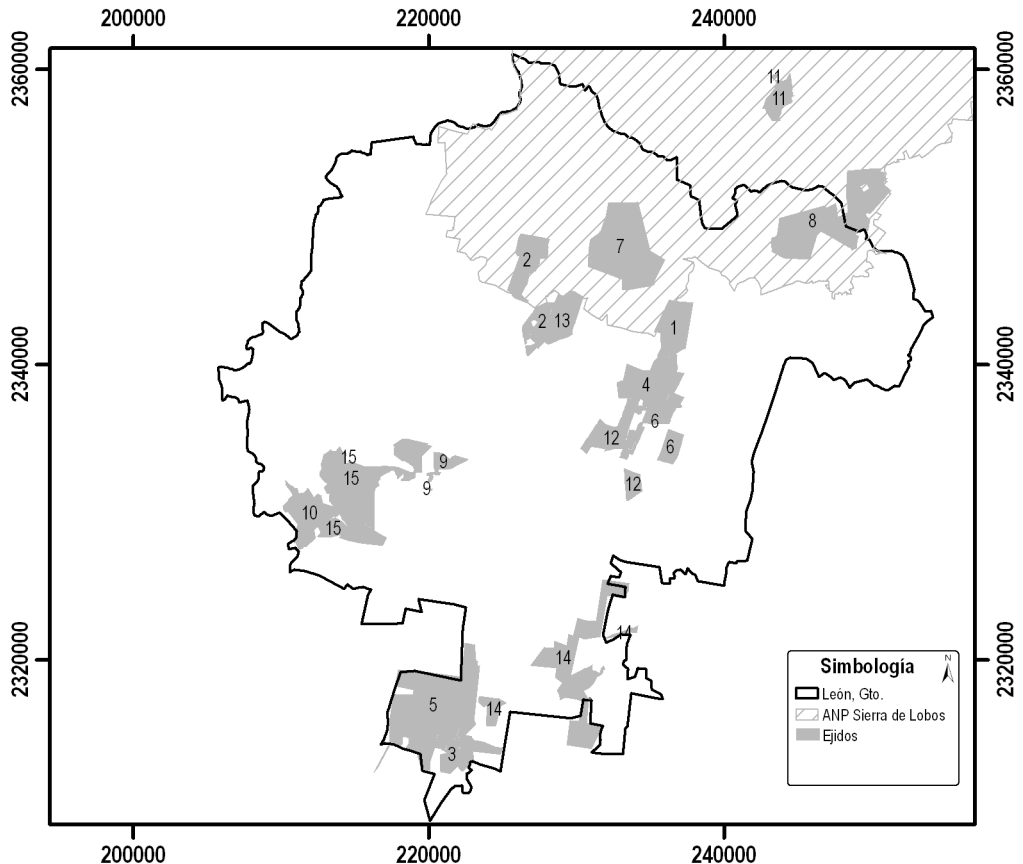


Figura 1.12. Ejidos seleccionados para el estudio socioeconómico en el valle de León y *Sierra de Lobos*, Guanajuato.

Cuadro 1.1. Ejidos seleccionados para el estudio socioeconómico del valle de León y Sierra de Lobos, Guanajuato.

No.	Municipio	Ejido	Total	Superficie (ha)		
				Uso común	Agrícola	Urbana
3	León	La Estancia	3981	3107	843	31
5	León	La Sandia	2979	151	2730	98
8	León*	Nuevo Valle de Moreno	2133	816	1304	13
14	León	Santa Ana del Conde	2018	30	1971	17
7	León*	Manzanillas	1960	1622	335	3
15	León	Santa Rosa	1795	31	1717	47
10	León	Puerta de San Germán	1082	0	1058	24
4	León	La Estancia de Otates	1033	521	496	16
2	León*	Ibarrilla	890	525	360	5
1	León*	El Sauz Seco	714	448	248	18
13	León*	San Pedro de los Hernández	676	397	279	0
11	San Felipe*	San José del Tanque	523	382	141	0
12	León	San Juan de Otates	667	16	615	36
6	León	La Laborcita	329	149	169	11
9	León	Pompa	196	11	174	11

* Ejidos dentro del ANP *Sierra de Lobos*.

Comunidades

La información sobre nombre de la comunidad, ubicación (latitud y longitud), población, fecundidad, mortalidad, migración, lenguaje indígena, religión, educación, servicios de salud, discapacidad, estado conyugal, empleo, hogares y vivienda (Figura 1.12) se obtuvo del XII Censo General de Población y Vivienda 2000 (INEGI, 2004a y 2004b) y del Conteo de Población 2005 de INEGI (2006).

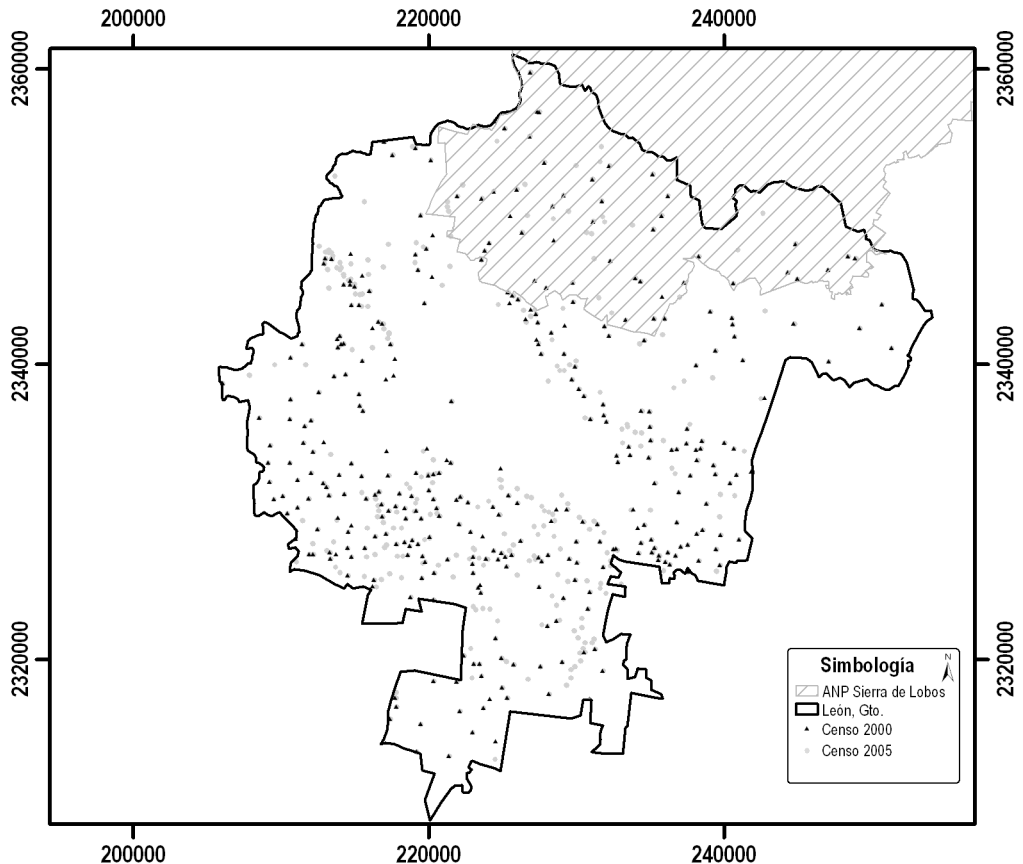


Figura 1.13. Comunidades en el municipio de León y *Sierra de Lobos*, Guanajuato.

Región hidrológica

La información en estas capas se obtuvo de los archivos electrónicos en formato shp (archivo generado por ArcGIS® tipo vectorial: punto, línea o polígono) para el territorio nacional elaborados por el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) en los que se delimita la región hidrológica, cuencas, subcuencas y microcuencas. En cada una de las capas se incluyeron los atributos de nombre, clave, superficie y perímetro de los polígonos. Para las microcuencas, se incluyó el código formado por las claves de la región hidrológica (Lerma-Santiago), cuencas (Laja y Lerma –Salamanca) y subcuencas (Hernández Álvarez, La Patiña, Presa el Barril, El Palote, Las Amapolas, Arperos y Penjamo-Irapuato-Silao) (Figura 1.14).

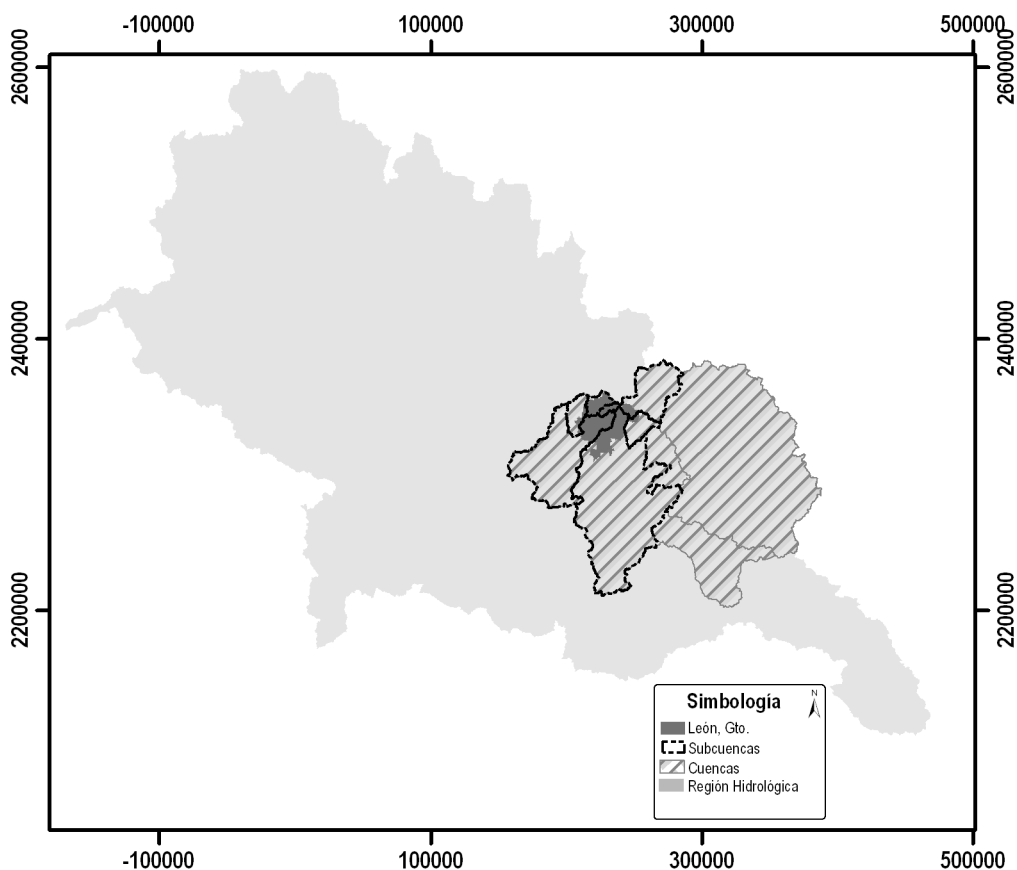


Figura 1.14. Región hidrológica, cuencas y subcuencas del valle de León y Sierra de Lobos, Guanajuato.

Geología

La información sobre la geología del área de estudio se obtuvo a partir de la digitalización de las siguientes cartas geológicas escala 1: 50 000 del INEGI (1990a, 2000b y 2005b): Lagos de Moreno (F14C31), Ibarra (F14C32), León (F14C41), Nuevo Valle de Moreno (F14C42), San Diego de Alejandría (F14C51) y Silao (F14C52). Las cartas geológicas fueron digitalizadas en función de tres formas vectoriales: puntos, líneas y polígonos (Figura 1.15).

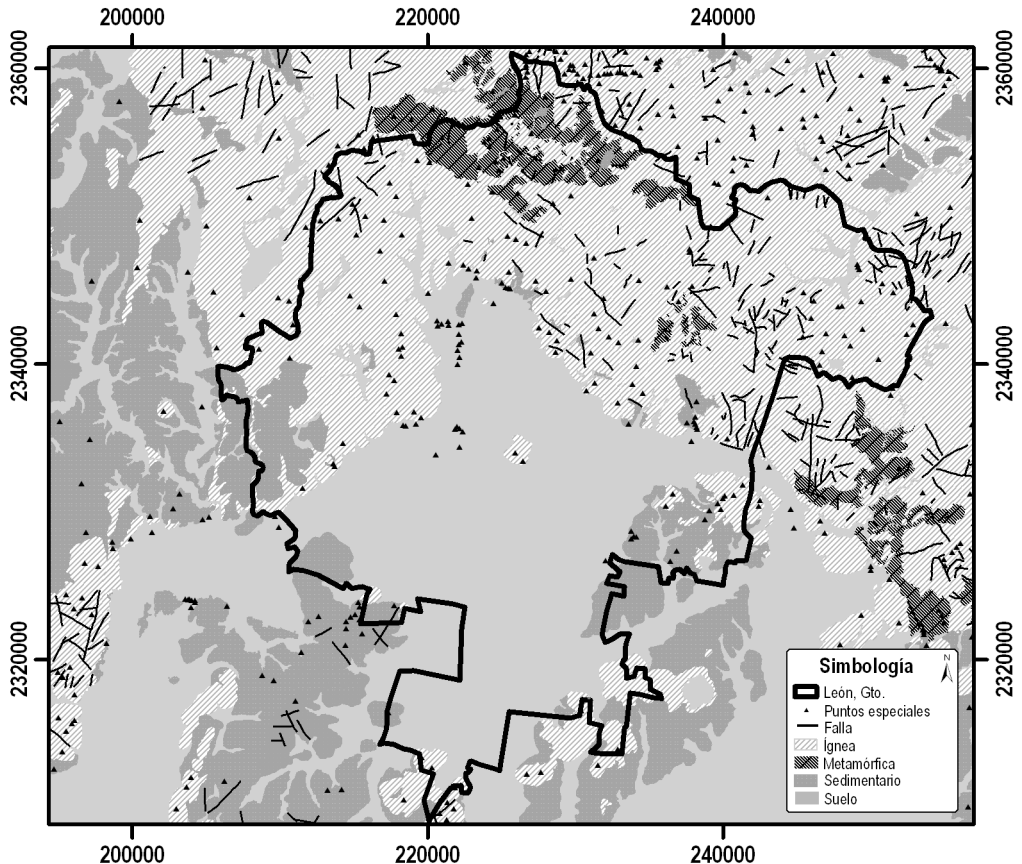


Figura 1.15. Mapa geológico del valle de León y Sierra de Lobos, Guanajuato con tres formas vectoriales: puntos, líneas y polígonos.

Puntos

Esta capa contiene localizaciones puntuales de bancos de material, manantiales, minas, catas, rumbos y echados de flujo de rocas ígneas y foliación.

Líneas

Para construir esta capa se digitalizaron las estructuras lineales que representan fracturas, diques y fallas naturales, considerando la longitud de cada una.

Polígonos

Esta capa clasifica las áreas con base en su origen y sucesión geológica, primaria y secundaria de acuerdo con la clasificación de INEGI.

Edafología

Las superficies por tipo de suelo clasificada por INEGI en base a FAO/UNESCO/1968 y modificada por la Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL) en 1970 (INEGI 1990b, 2001 y 2009), se complementó con características de fase física (lítica, lítica profunda, pedregosa y pedregosa profunda), fase química (salinidad y sodicidad), textura (fina, media o gruesa) y topografía (lomerío, plano, montañoso) (INEGI, 1990b), además de la superficie que comprende cada clasificación (Figura 1.16).

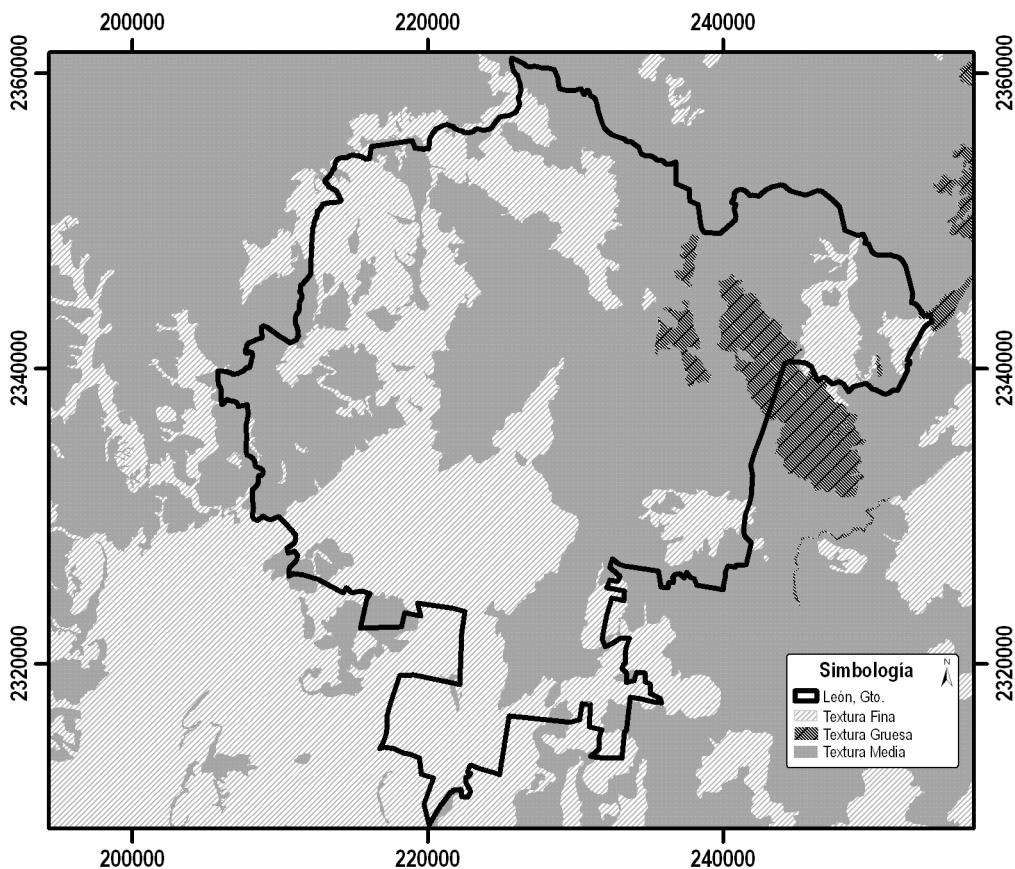


Figura 1.16. Mapa de de tipos de suelo en el valle de León y *Sierra de Lobos*, Guanajuato.

Uso del suelo y vegetación

Los atributos de esta capa de información corresponden a la delimitación superficial de acuerdo con el uso de suelo, vegetación y las asociaciones a estos, con escala 1:50,000 (Figura 1.17). En las áreas agrícolas los cultivos se clasificaron en: permanentes, anuales y semipermanentes y los bosques se clasificaron de acuerdo al tipo de hoja (INEGI, 2005c).

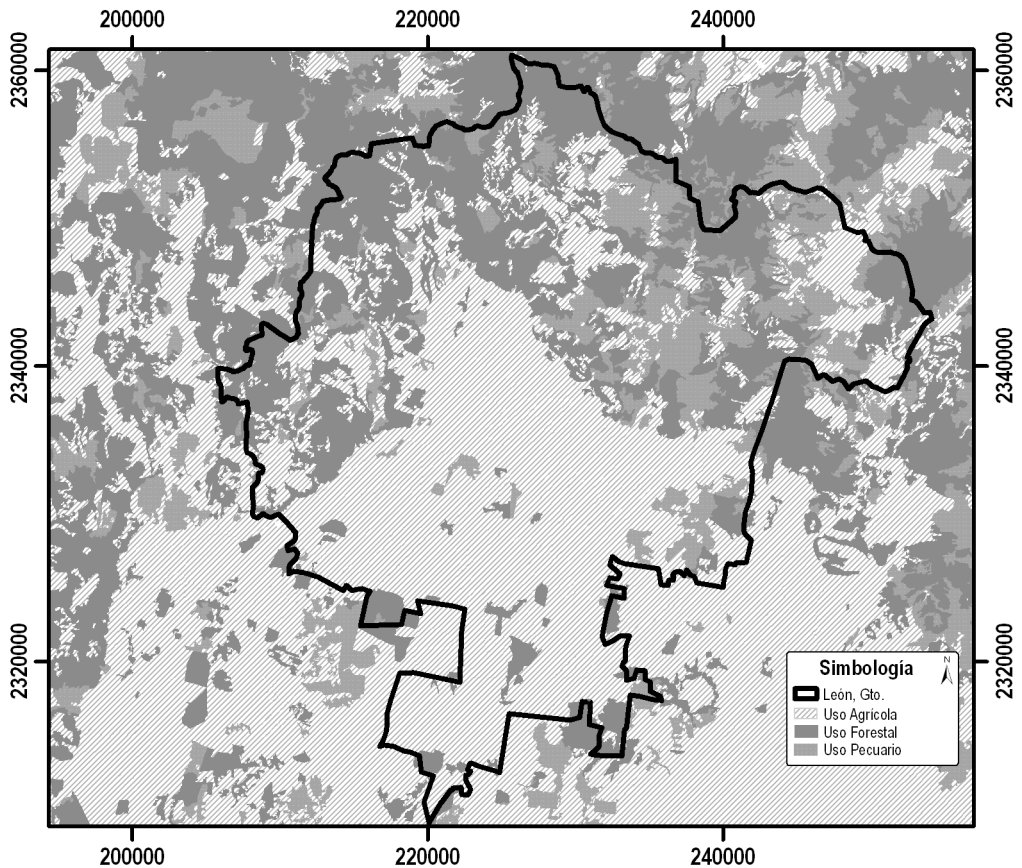


Figura 1.17. Mapa de uso de suelo y vegetación en el valle de León y *Sierra de Lobos*, Guanajuato.

Inventario forestal

Se incorporó la base de datos de los sitios de muestreo en los que se elaboró el Inventario Nacional Forestal en el estado de Guanajuato, en la que se incluye información cuantitativa y cualitativa de los recursos forestales, vegetación asociada, componentes y características del territorio donde se localiza el bosque (Figura 1.18).

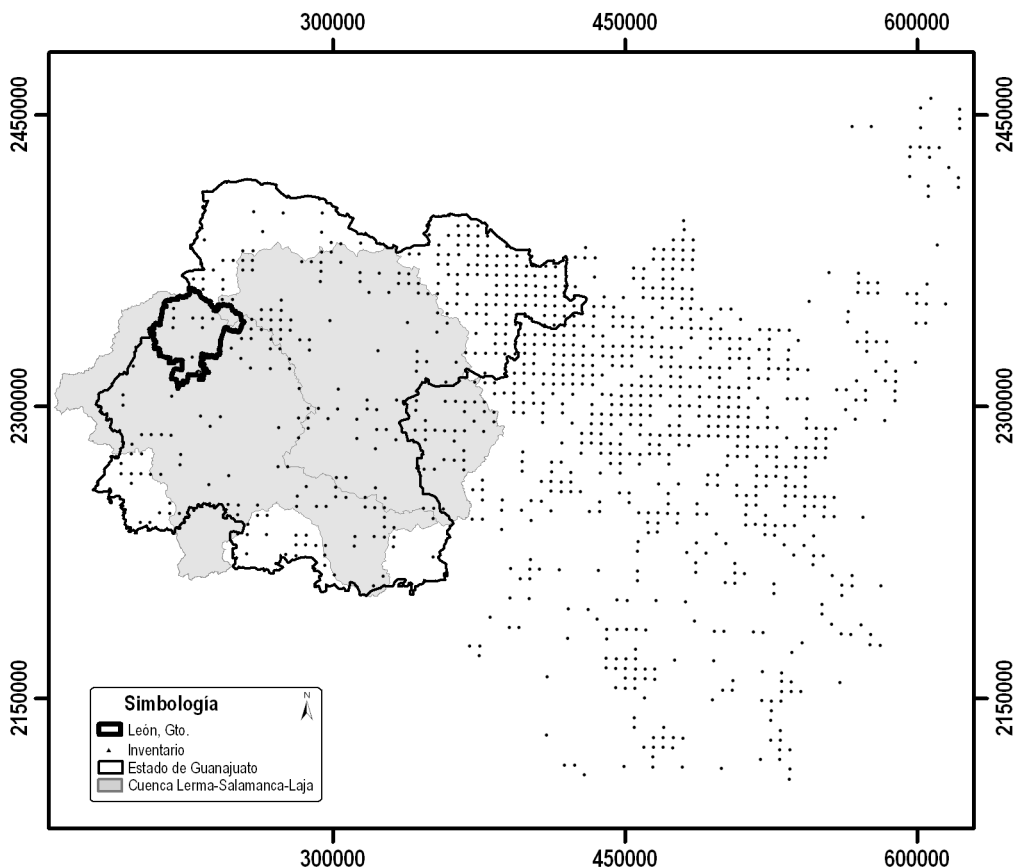


Figura 1.18. Puntos de muestreo del inventario nacional forestal en el estado de Guanajuato.

Superficie agrícola

Por fuente de agua.- Para la realización de esta cobertura se digitalizaron las parcelas del municipio de León tomando como base la información en ortofotos de 2006 (tamaño y forma); posteriormente, se verificó en campo (2008) para corrección de errores, dando como resultado la clasificación de uso del suelo por fuente de agua (Cuadro 1.2 y Figura 1.19).

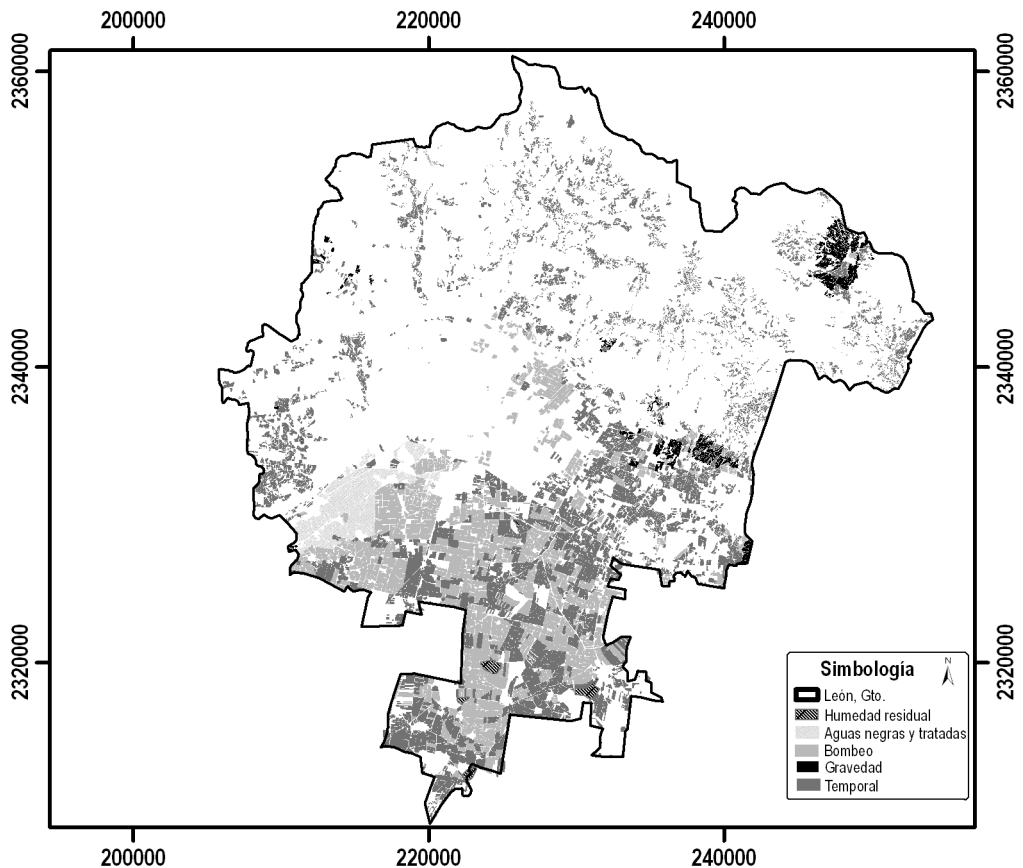


Figura 1.19. Mapa del área agrícola por fuente de agua en el valle de León, Guanajuato.

Cuadro 1.2. Superficie agrícola por fuente de agua en el municipio de León, Guanajuato.

Fuente de agua	Superficie (ha)
Lluvia	19,563
Pozo profundo	12,354
Gravedad	1,384
Agua tratada	1,562
Agua negra	441
Enlames	308
Total	35,612

Por tipo de cultivo

En forma simultánea a la clasificación supervisada en campo para determinar la fuente de agua, se llevó a cabo la clasificación del área agrícola con base en el tipo de cultivo: agave, alfalfa, frutales, hortalizas, sorgo y maíz (Cuadro 1.3 y Figura 1.20).

Cuadro 1.3. Superficie agrícola por tipo de cultivo en el municipio de León, Guanajuato.

Cultivo	Superficie (ha)
Agave	101
Alfalfa	2248
Frutales	47
Hortalizas	2176
Maíz o Sorgo	21419
Maíz o Sorgo - Trigo o Cebada	8058

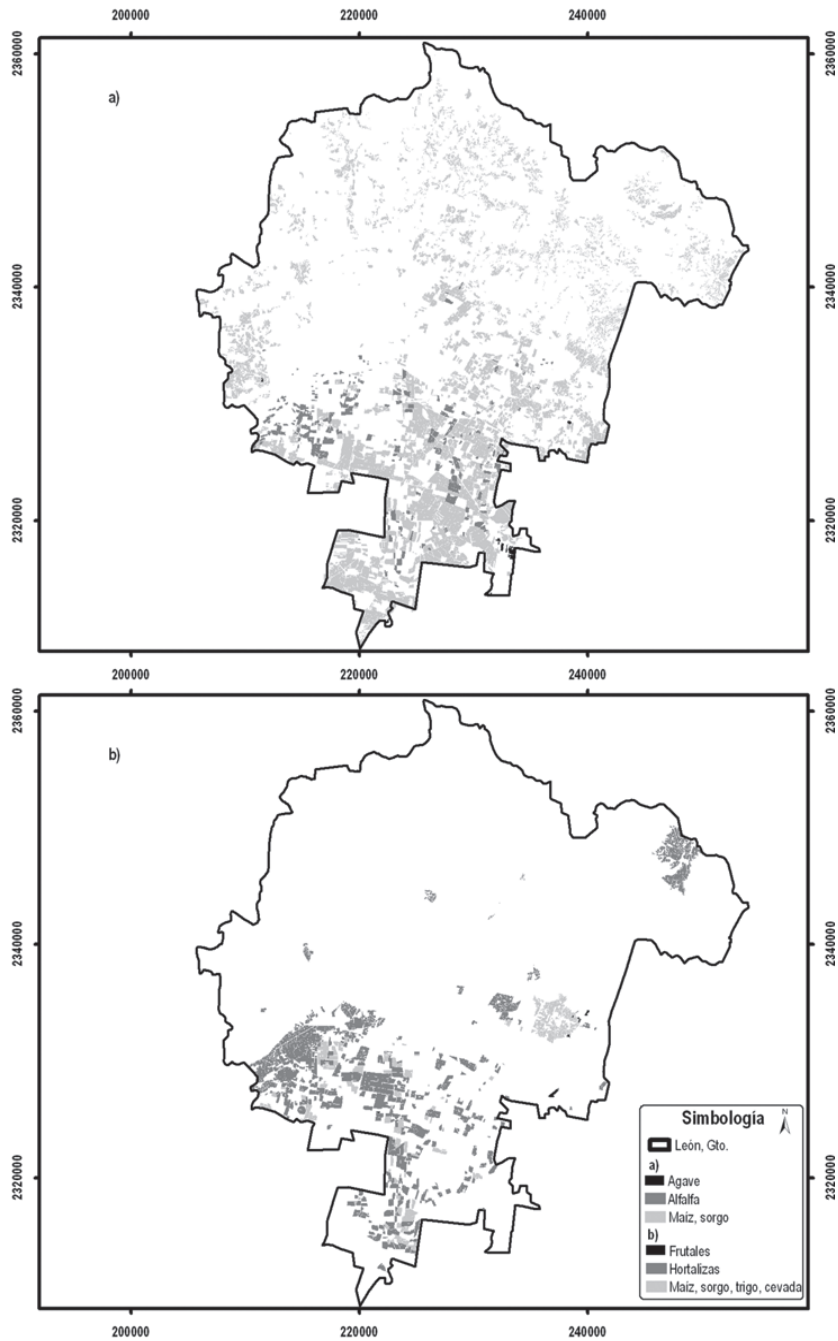


Figura 1.20. Superficie agrícola por tipo de cultivo en el valle de León, Guanajuato.

Sin uso

La superficie agrícola sin uso en el municipio de León se clasificó con base en la fuente de agua disponible (Figura 1.21).

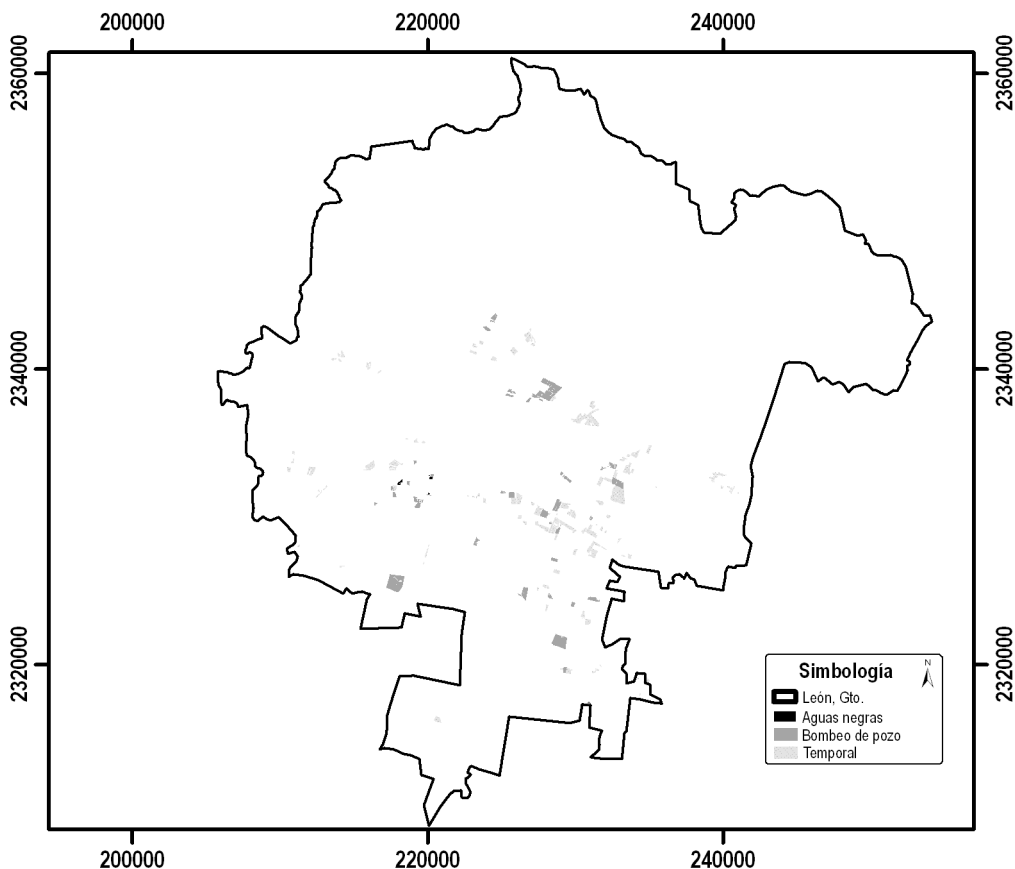


Figura 1.21. Superficie agrícola sin uso y las actividades a las cuales se dedicaban en el valle de León, Guanajuato.

Potencial de reforestación

Con base en el estudio realizado en el estado de Guanajuato “Potencial agroforestal con arbustivas nativas” por parte de la Dra. Rosario Terrones en su carácter de investigadora del INIFAP (Terrones *et al.*, 2004) se escanearon los 20 mapas resultantes y posteriormente se digitalizaron para obtener los polígonos de muy alto, alto, medio y bajo potencial de adaptación de las 32 familias botánicas estudiadas. Para la obtención de cada mapa el estudio consideró las características ambientales que determinan el crecimiento de las especies en estudio como topografía, clima, y suelo. En el siguiente cuadro se muestran las familias botánicas que presentaron potencial de reforestación en el área de estudio.

Cuadro 1.4. Familias botánicas con potencial de reforestación para el municipio de León y el área natural protegida *Sierra de Lobos*.

Familia	Archivo
Amarallidaceae	Fagaceae
Anacardiaceae	Moraceae
Asteraceae	PinoPinonero
Betulaceae, Juglandaceae, Meliaceae	Pinaceae
Burseraceae	Rhamnaceae, Oleaceae, Ulmaceae
Cactaceae, Fouquieriaceae	Rosaceae
Cupresacea	Salicaceae, Taxodiaceae, Platanaceae
Fabaceae, Mimosoideae	Tiliaceae
Fabaceae, Caesalpinoideae	Verbenaceae, Zygophyllaceae
Fabaceae, Papilionoideae	

Consideraciones finales

La información presentada en este capítulo permite tener la dinámica espacial de la información geográfica temática existente (edafología, geología, uso de suelo y vegetación, entre otras), a fin de proponerse como una herramienta para la gestión y manejo de los recursos naturales, ya que de manera virtual se pueden manipular y editar capas temáticas para simular acciones encaminadas al manejo de estos recursos. En el caso específico de este estudio el SIG es una herramienta eficaz para ubicación de sitios de muestreo (áreas de muestreo dendrocronológico y datación de agua) ubicación de superficies que contengan características específicas para determinar acciones de manejo (área de suelos, potencial forestal y socioeconomía) por medio de la ubicación de características de suelo, pendiente, clima, delimitación de ejidos etc. que permitan el desarrollo óptimo de la especie seleccionada o tipo de suelo. Por lo anterior, esta herramienta es un apoyo a las demás áreas de trabajo del proyecto para mejorar la perspectiva del análisis de la información existente y generada a través de muestreos de campo.

Es importante resaltar que esta información es válida en función de la periodicidad con que se actualice, debido a que corresponde a un diagnóstico de los recursos naturales al momento de realizarse el estudio, es decir, que las condiciones de los recursos, principalmente por el cambio de uso de suelo, serán diferentes en el corto y mediano plazo, y esto puede derivar en una cambio de toma de decisión para un problema definido.

LITERATURA CITADA

- Alonso S., F. 2004. SIG aplicados al análisis y cartografía de riesgos climáticos. Métodos y técnicas de análisis de riesgos climáticos II curso de verano de la Asociación española de climatología. España. 70 p.
- Barredo C., J. 2005. Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Segunda edición. Editorial RA - MA. Madrid, España. 304 p.

- Clarke K. C, L. S Mc Lafferty and B. J Tempalski. 1996. On Epidemiology and Geographic Information Systems: a review and discussion of future directions. *Emerg Infect Dis.* Apr-Jun; 2(2):85-92.
- Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Guanajuato (CEASG). 1998. Estudio hidrogeológico y modelo matemático del acuífero del Valle de León. Plan Estatal Hidráulico de Guanajuato. Geofísica de exploraciones GUYSA, S.A. de C.V. Guanajuato, México. 296 p.
- Dueker, K. and D. Kjerne, 1989. Multipurpose Cadastre: Terms and Definitions, In Technical Papers ASPRS/ACSM Annual Convention, American Congress on Surveying and Mapping, Bethesda, MD, April 2-7, 1989, pp. 94-103.
- Environmental System Research Institute, Inc. (ESRI). 1995. Understanding GIS. The ARC/INFO Method. Self –study workbook. USA. 529 p.
- Glennon R., B. Booth, J. Shaner, A. MacDonald and P. Sanchez. 2004. Editing GIS Features Tutorial. Environmental System Research Institute, Inc. (ESRI). Wilson. North Carolina. USA. pp 128.
- Goodchild M. J. 1993. The state of GIS for Environmental Problem-Solving en Goodchild, B.O. Parks & L.T. Steyaert *Environmental Modeling with GIS* Oxford University Press, New York, Oxford. pp. 8-15.
- Harlow, M. and A. Vienneau, 2003. ArcCatalog Tutorial. Environmental System Research Institute, Inc. (ESRI). Wilson. North Carolina. USA. 29 p.
- Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IIRBAH). 2010. Metodología para la implementación del perfil para la captura de los metadatos geográficos. <http://www.humboldt.org.co/humboldt/mostrarpagina.php?codpage=70004> (octubre de 2010).
- Heywood, I., S. Cornelius and S. Carver. 2006. An introduction to geographical information system. 3th Ed. Prentice Hall. Harlow, England. 426 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1990a. Guías para la interpretación de cartografía. Geología. Aguascalientes, México. 32 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1990b. Guías para la interpretación de cartografía. Edafología. Aguascalientes, México. 48 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2000a. Sistema nacional de fotografía aérea (SINFA). Aguascalientes, México. 23 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2000b. Diccionario de datos geológicos escala 1:50,000 (vectorial). Sistema Nacional de Información Geográfica. Aguascalientes, México. 39 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2001. Diccionario de datos edafológicos escala 1:50,000 (alfanumérico). Sistema Nacional de Información Geográfica. Aguascalientes, México. 48 p.

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2004a. Estados Unidos Mexicanos, XII Censo General de Población y Vivienda 2000; Principales Resultados por Localidad (Versión Disco Compacto). Edición 2004.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2004b. Sistema para la Consulta del Cuaderno Estadístico Municipal (Versión Disco Compacto). León, Guanajuato. Edición 2004.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005a. Guías para la interpretación de cartografía. Topografía. Aguascalientes, México. 21 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005b. Guías para la interpretación de cartografía geológica. Aguascalientes, México. 26 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005c. Guías para la interpretación de cartografía. Uso de suelo y vegetación. Aguascalientes, México. 89 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2006. Estados Unidos Mexicanos, II Censo de Población y Vivienda 2005. Principales Resultados por Localidad 2005 (Versión Disco Compacto). Edición 2006.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2009. Diccionario de datos edafológicos. Serie II. Aguascalientes, México. 35 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2010. Metadatos <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/normatividad/metadatos/Metadatos.cfm#i1> (octubre de 2010).
- Jones, C. and McCoy J. 2001. *Geoprocessing in ArcGIS Tutorial. Environmental System Research Institute, Inc. (ESRI). Wilson. North Carolina. USA.* 63 p.
- Molina SI. 2001. Los sistemas de información geográfica en epidemiología. En Revista salud Pública y Nutrición. Abril-Junio. 2(2).
- Moreno J., A., R. Cañada T., B. Cervera C. F. Fernández G., N. Gómez G., P. Martínez S., A. Moreno J., M.E. Prieto F., J.A. Rodríguez E., M.J. Vidal D. 2008. Sistemas y análisis de la información geográfica. Manual de auto aprendizaje con ArcGIS®. Segunda edición. RA-MA Editorial. Madrid, España, 911 p.
- O'sullivan, D. And D. Unwin. 2003. Geographic information analysis. Jhon Wiley and Sons. Hoboken, NJ, USA. 436 p.
- Palma T., A. y A.S. Sánchez V. 2005. La Fotografía aérea en la planeación y manejo de recursos naturales. Primera Edición. Universidad Autónoma Chapingo, México. 335 p.
- Richards, T. B, C. M. Croner, G. Rushton, C.K Brown and L. Fowler. 1999. Geographic Information Systems and public health: mapping the future. Public Health Rep. Jul-Aug; 114(4):359-60

- Sistemas de Areas Naturales Protegidas del Estado de Guanajuato (SANPEG). 1997. Decreto Gubernativo No. 77, Capítulo Único, Artículo Segundo. Conforme a lo establecido en el Decreto No. 68 Publicado en el Periódico Oficial del Estado el día Dos de Septiembre de 1997.
- Terrones R., R., S. Gonzalez S. y A. Rios. 2004. Arbustivas de Uso Múltiple en Guanajuato. INIFAP, Campo Experimental Celaya. Libro Técnico No. 2. Primera Edición. Celaya, Gto. México. 209 p.
- Theobald, M.D. 2000. GIS Concepts and Arc View methods. Colorado State University. USA. 133 p.
- Thiruvengadachari S. 2004. Spatial data sets in hydrology project. Hydrology Project, World Bank.

Cartografía consultada

- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1973. Carta Edafológica F14C31. Lagos de Moreno. Secretaría de la Presidencia, Estados Unidos Mexicanos. Escala 1:50,000
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1973. Carta Edafológica F14C32. Ibarra. Secretaría de la Presidencia, Estados Unidos Mexicanos. Escala 1:50,000
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1974. Carta Edafológica F14C41. León. Secretaría de Programación y Presupuesto. Coordinación General de los servicios nacionales de estadística, geografía e informática, Estados Unidos Mexicanos. Escala 1:50,000
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1973. Carta Edafológica F14C42. Nuevo Valle de Moreno. Secretaría de la Presidencia, Estados Unidos Mexicanos. Escala 1:50,000
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1973. Carta Edafológica F14C51. San Diego de Alejandría Secretaría de Programación y Presupuesto. Coordinación General de los servicios nacionales de estadística, geografía e informática, Estados Unidos Mexicanos. Escala 1:50,000
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1973. Carta Edafológica F14C52. Silao. Secretaría de Programación y Presupuesto. Coordinación General de los servicios nacionales de estadística, geografía e informática, Estados Unidos Mexicanos. Escala 1:50,000
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1973. Carta Geológica F14C31. Lagos de Moreno. Secretaría de la Presidencia, Estados Unidos Mexicanos. Escala 1:50,000
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1982. Carta Geológica F14C32. Ibarra. Secretaría de la Presidencia, Estados Unidos Mexicanos. Escala 1:50,000
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1975. Carta Geológica F14C41. Secretaría de la Presidencia, Estados Unidos Mexicanos. León. Escala 1:50,000
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1975. Carta Geológica F14C42. Secretaría de la Presidencia, Estados Unidos Mexicanos. Nuevo Valle de Moreno. Escala 1:50,000

- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1975. Carta Geológica F14C51. San Diego de Alejandría. Escala 1:50,000. Secretaría de la Presidencia. Estados Unidos Mexicanos, Aguascalientes, Ags.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1973. Carta Geológica F14C52. Silao. Escala 1:50,000. Secretaría de Programación y Presupuesto. Coordinación General de los servicios nacionales de estadística, geografía e informática. Estados Unidos Mexicanos, Aguascalientes, Ags.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1994. Carta Topográfica F14C31. Lagos de Moreno. Escala 1:50,000. Estados Unidos Mexicanos, Aguascalientes, Ags.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1998. Carta Topográfica F14C32. Ibarra. Escala 1:50,000. Estados Unidos Mexicanos, Aguascalientes, Ags.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). Carta Topográfica F14C41. 1998. León. Escala 1:50,000. Estados Unidos Mexicanos, Aguascalientes, Ags.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). Carta Topográfica F14C42. 1998. Nuevo Valle de Moreno. Escala 1:50,000. Estados Unidos Mexicanos, Aguascalientes, Ags.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). Carta Topográfica F14C51. 1995. San Diego de Alejandría. Escala 1:50,000. Estados Unidos Mexicanos, Aguascalientes, Ags.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). Carta Topográfica F14C52. 1995. Silao. Escala 1:50,000. Estados Unidos Mexicanos, Aguascalientes, Ags.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1973. Carta Uso de suelo y vegetación F14C31. Lagos de Moreno. Escala 1:50,000. Secretaría de la Presidencia. Estados Unidos Mexicanos, Aguascalientes, Ags.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1973. Carta Uso de suelo y vegetación F14C32. Ibarra. Escala 1:50,000. Secretaría de la Presidencia. Estados Unidos Mexicanos, Aguascalientes, Ags.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1974. Carta Uso de suelo y vegetación F14C41. León. Escala 1:50,000. Secretaría de Programación y Presupuesto. Coordinación General de los servicios nacionales de estadística, geografía e informática. Estados Unidos Mexicanos, Aguascalientes, Ags.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1973. Carta Uso de suelo y vegetación F14C42. Nuevo Valle de Moreno. Escala 1:50,000. Secretaría de la Presidencia. Estados Unidos Mexicanos, Aguascalientes, Ags.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1974. Carta Uso de suelo y vegetación F14C51. San Diego de Alejandría. Escala 1:50,000. Secretaría de Programación y Presupuesto. Coordinación General de los servicios nacionales de estadística, geografía e informática. Estados Unidos Mexicanos, Aguascalientes, Ags.

Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1973. Carta Uso de suelo y vegetación F14C52. Silao. Escala 1:50,000. Secretaría de la Presidencia. Estados Unidos Mexicanos, Aguascalientes, Ags.



Ignacio Orona Castillo
Ramón Trucíos Cacioano
Rafael Figueroa Viramontes
Manuel Fortis Hernández
Jesús A. Muñoz Villalobos

CAPÍTULO II

**ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS DEL
USO DEL AGUA EN EL MUNICIPIO DE
LÉON, GUANAJUATO**

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de los grandes centros de desarrollo urbano e industrial incrementa la necesidad de producir alimentos y materias primas por medio de la agricultura de riego como actividad necesaria y demandante de agua, recurso escaso, distante y comprometido (López, 1996). La competencia por los limitados suministros de agua como recurso estratégico y limitado, controla las actividades económicas en muchos países. A medida que las poblaciones se expandan y las economías crezcan, la competencia por este recurso se intensificará y con ella, los conflictos entre los usuarios del agua (Bhatia y Falkenmark, 1992).

México cuenta con más del 10% de las especies vegetales conocidas en el mundo (Elvira, 2006; SEMARNAT, 2009); no obstante, se ha llevado a cabo una pérdida de biodiversidad por sobreexplotación de recursos naturales que ha propiciado el avance de la desertificación del territorio provocado, principalmente, por la deforestación, prácticas agrícolas inadecuadas, sobrepastoreo, extracción de leña y urbanización (Elvira, 2006), debido a que la población demanda más servicios y tecnologías que ejercen presión sobre los recursos naturales.

Adicionalmente, Lambin *et al.* (2001) y Vitousek *et al.* (1997), manifiestan que uno de los principales factores de transformación y deterioro de los ecosistemas lo constituyen las actividades antrópicas y que la deforestación, desertificación, pérdida de la biodiversidad y la degradación del suelo y del agua, son algunos de los impactos del incremento acelerado de la población y de sus actividades. Entre las consecuencias obvias de esta transformación destacan la pérdida del potencial de uso de los múltiples servicios y bienes ambientales que proporcionan los ecosistemas, el calentamiento global y la alteración de los ciclos hidrológico y bioquímico, entre muchos otros (Daily, 1997).

El valle de León, Guanajuato y la *Sierra de Lobos* se ubican en la Región Hidrológica No.12 Lerma-Chapala-Santiago, en la cuenca río Lerma-Salamanca (subcuencas río Turbio-presa El Palote y río Guanajuato-Silao). El principal río que drena el área es el río León o Los Gómez, que se ha convertido en el colector público de las aguas residuales de la ciudad de León. Sus afluentes principales son los arroyos Los Castillos y Hacienda de Arriba, que igualmente reciben afluentes que intermitentemente descienden de la sierras y mesetas (CEASG, 1998).

En el municipio de León, Guanajuato, las diversas actividades agropecuarias consumen alrededor del 70% del agua, mientras que el uso doméstico e industrial el 30% restante. Sin embargo, la productividad económica del agua es mayor en las actividades de la industria manufacturera que en las agrícolas. En la agricultura de riego, los cultivos hortícolas y forrajeros superan en productividad a los granos. Losada (2002), propuso que con la aplicación de tecnologías de riego avanzadas y económicamente competitivas, sería posible lograr la gestión racional y sustentable del agua en una determinada región. La *Sierra de Lobos* es un área natural protegida cuya captación de agua abastece los acuíferos del valle de León y donde el principal problema es la deforestación por el uso agrícola y ganadero intensivo.

El Censo Nacional de Población y Vivienda realizado en el año 2000, reportó que el 1.6% de la población ocupada se dedica a actividades primarias; 45.8% a secundarias y 52.6% se emplea en el sector terciario (INEGI, 2004a). Estas proporciones sugieren que el recurso agua debe aplicarse con equidad en las actividades más productivas, rentables y que generen empleo, pues como se verá más adelante, el sector primario es el mayor consumidor de agua y el que menor empleo e ingresos aporta a la economía regional.

El aprovechamiento sustentable de los recursos hidráulicos es el componente principal de la nueva cultura del agua, que se fundamenta en el conocimiento y difusión de la cantidad, calidad y disponibilidad del agua y la posibilidad de reutilizar las residuales que permita establecer directrices técnicas para el uso equilibrado del agua subterránea y superficial con sentido social y económico (CNA, 2002).

Para aplicar el concepto de manejo integral de los recursos naturales en forma efectiva, es necesario considerar todos los aspectos sociales y económicos de la población que hace uso de ellos. Entre los primeros está la edad, tamaño de parcela, la tecnología de producción y los aspectos organizativos, y entre los segundos la actividad que desarrollan, así como el empleo e ingresos que generan. En este contexto, el objetivo de este estudio fue determinar las características socioeconómicas de la población y las actividades que desarrollan en el valle de León y en el Área Natural Protegida (ANP) *Sierra de Lobos*, Guanajuato, producto del manejo de recursos naturales, así como identificar medidas correctivas para lograr mayor equidad y sustentabilidad económica y social del uso del agua en la región.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El municipio de León y la parte geográfica del ANP *Sierra de Lobos* comprendida dentro del municipio, se localizan entre las coordenadas extremas 21° 20' y 20° 52' Norte; 101° 22' y 101° 50' Oeste. Representa el 4.1% de la superficie del estado de Guanajuato, colinda al norte con el estado de Jalisco y los municipios de San Felipe y Silao, Guanajuato; al sur, con los municipios de Silao, Romita y San Francisco del Rincón; al oeste, con los municipios de San Francisco del Rincón, Purísima del Rincón y el estado de Jalisco.

Para identificar las comunidades situadas en el área de estudio, se utilizó el Sistema de Información Geográfica desarrollado previamente. Una vez identificadas las localidades, se ubicaron en alguna de las siete microcuencas que se encuentran en el municipio de León. La información se procesó con el programa Excel®. Las variables sociodemográficas utilizadas se tomaron del XII Censo General de Población y Vivienda (INEGI, 2004a), que contiene las localidades georeferenciadas.

Para determinar la importancia de las actividades económicas en relación con el valor de la producción y el personal ocupado, así como el número de unidades económicas, se utilizó el Sistema Automatizado de Información Censal (SAIC 4.0®), proveniente del censo económico de 1999 (INEGI, 2002).

La información sobre el volumen de agua utilizada en cada una de las actividades productivas en el área urbana de la ciudad de León se obtuvo en el Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León (SAPAL, 2007), la información sobre los volúmenes de agua demandados y facturados por los sectores industrial y doméstico se cruzó con la contenida en el SAIC® para calcular el indicador de *productividad del agua*.

Para determinar la productividad económica y física del agua en el sector agrícola en el valle de León se utilizó la información estadística generada por la SAGARPA (2003) para maíz grano, sorgo grano, brócoli, frijol, papa y alfalfa verde, que reporta el volumen de agua utilizada, la superficie cosechada y el valor de la producción; para otros cultivos, la información se obtuvo mediante encuestas de

campo aplicadas a 71 productores en las que se incluyeron preguntas sobre los aspectos sociales y económicos.

La caracterización del aprovechamiento del suelo y la vegetación en el ANP *Sierra de Lobos* (parte alta de la cuenca), se realizó por medio de 50 encuestas de campo, distribuidas en ocho comunidades: Buenos Aires, Cuesta Blanca, El Derramadero, Los Alisos, Mesa de Ibarra, Rincón Grande, San José de Otates y San Rafael, esta última conocida también como Cerro Verde, las cuales se seleccionaron con base en la actividad predominante: pecuaria, agrícola y forestal. Los informantes clave se seleccionaron por técnicos de SAGARPA que trabajan en la zona, quienes además apoyaron su aplicación. El criterio de selección fue que los productores estuviesen activos y supiesen del manejo de sus recursos.

Contexto social

Demografía. - En el año 2000, la población registrada en el municipio de León, Guanajuato representó el 24.3% del total estatal. Entre 1950 y el 2000, el número de habitantes aumentó de 157,343 a 1,134 842, lo que equivale a 721% de incremento en el periodo y una densidad poblacional de 959 hab/km²; es decir, casi veinte veces mayor que la registrada a nivel nacional, que para este año fue de 52 hab/km² y seis veces mayor que la registrada para el estado de Guanajuato (INEGI, 2007).

Considerando que la disponibilidad de los recursos agua y vegetación tiende a permanecer en el tiempo, y el número de usuarios se incrementa, la presión al ecosistema se ha incrementado, pues ha crecido la demanda de agua para actividades que antes no existían (la industria); así como para satisfacer las necesidades del sector servicios y urbanos (hotelería, comercio y población total), y la tendencia observada tiende a persistir en el tiempo, lo que seguramente agravará esta situación. Bajo la consideración de que las comunidades con población mayor a 2,500 habitantes se consideran urbanas; en el municipio de León, el 92% de los habitantes residen en comunidades urbanas y solo el 8% en rurales (Cuadro 2.1). Es decir, la demanda de agua se ha incrementado más en las actividades secundarias y terciarias (incluida la industria de la transformación en las primeras, y los servicios como bancos y comercio en las segundas), que en la agricultura, la cual a pesar de demandar los mayores volúmenes es la que menor participa en empleos e ingresos generados, como se mostrará más adelante.

Demografía por microcuencas. - De acuerdo con el Sistema de Información Geográfica, en el municipio de León existen siete microcuencas con población mayor a 500 habitantes. La microcuenca Las Amapolas es la más poblada, concentra el 96% de los habitantes del municipio en el área urbana de la ciudad de León (Cuadro 2.2). De la población total, el 54% carece de servicios de salud. Las microcuencas con menor población, Hernández Álvarez y Arperos tienen la más baja proporción de habitantes sin servicios de salud con 7 y 8%, respectivamente. Si la subcuenca con más población es Amapolas, es ésta la que alberga la ciudad de León, el mayor consumo de agua para actividades primarias y secundarias ocurre aquí.

Las subcuencas con menor población se caracterizan por ser donde se ubica la población rural, donde está la mayor vegetación y fuentes de agua; siendo éstas mismas las mayores consumidoras del recurso para fines agropecuarios. Sin embargo, a diferencia de las zonas urbanas, que dependen fundamentalmente del agua subterránea, las rurales aprovechan las lluvias que ocurren en la zona para complementar el riego de sus cultivos con aguas de escurrimiento, captadas en pequeñas presas, además de coexistir también la agricultura de riego por bombeo de aguas subterráneas.

Cuadro 2.1. Población por género en el estado de Guanajuato y comunidades en el municipio de León.

Comunidad	Total	Masculino	Femenino
Estado de Guanajuato	4,663,032	2,233,315	2,429,717
Municipio de León	1,134,842	554,690	580,152
León de los Aldama	1,020,818	497,863	522,955
Centro Familiar La Soledad	18,526	9,324	9,202
Medina	6,648	3,338	3,310
Duarte	5,671	2,538	3,133
La Ermita	4,802	2,422	2,380
Plan de Ayala (Santa Rosa)	4,543	2,261	2,282
Álvaro Obregón	2,683	1,395	1,288
Loza de los Padres	2,290	1,118	1,172
San Juan de Otates	2,280	1,082	1,198
San Nicolás de González	2,010	1,025	985
Alfaro	1,905	946	959
Otras localidades*	62,666	31,378	31,288

*Se incluyen 27,664 personas (estimado) correspondientes a 6,916 viviendas sin información de ocupantes. Fuente: INEGI, 2007. II Censo de Población y Vivienda 2005.

Cuadro 2.2. Población del municipio de León, Guanajuato, por microcuenca y género.

Microcuenca	Total	Masculino	Femenino
Arperos	813	416	397
El Palote	3,429	1,699	1,723
Hernández Álvarez	1,168	554	614
La Patiña	3,620	1,794	1,814
Las Amapolas	1,083,850	529,699	554,111
Pénjamo – Irapuato – Silao	34,834	16,899	17,918
El Barril	1,808	887	921
Otras*	5,320	1,851	1,905
Total	1,134,842	554,690	580,152

* Cuencas con comunidades muy pequeñas. Fuente: INEGI, 2007. II Censo de Población y Vivienda, 2005.

Actividades económicas

Empleo e Ingreso.- De acuerdo con el Censo económico de 1999, en el municipio de León el 1.6% de la población se emplea en actividades primarias; 45.8% en secundarias y 52.6% en el sector terciario; lo anterior indica que la agricultura genera pocos empleos en comparación con otras actividades. A nivel nacional, las actividades agrícola, silvícola y pesquera ocuparon el 20.7% de la población económicamente activa (INEGI, 2002) y su participación en el Producto Interno Bruto

(PIB) fue de 5% y el 25% de la población total del país habitaba en áreas rurales (Espinoza *et al.*, 2004).

Con relación al ingreso, el 35% de la población ocupada percibe hasta dos salarios mínimos, el 50% entre dos y cinco y el 15% seis o más, mientras a nivel nacional, dichas proporciones son del 49, 37 y 14%, respectivamente. Lo cual significa que en este municipio es menor la proporción de la población que gana menos de dos salarios mínimos en comparación con la nacional. En el municipio de León, Guanajuato se ubica el 27% de las unidades económicas registradas en la entidad; ocupa el 35% del personal empleado y aporta el 11% del valor de la producción.

El número de unidades económicas registradas ascendió a 43,753, (sin incluir al sector agropecuario, forestal y pesca); de las cuales, el 0.03% corresponden al sector primario; 15.17% a la industria manufacturera y 84.8% a servicios. La proporción de empleo que generan las unidades económicas, sin incluir al sector agropecuario, forestal y pesca es: 0.4% el sector primario; 33.3% el sector secundario, y 66.6% el sector terciario.

En el valor de la producción, los sectores secundario y terciario participan con el 98.7 y 1.3%, la participación del sector primario es muy baja; es decir, en este municipio la actividad es eminentemente industrial. El valor agregado de acuerdo a Zorrilla y Méndez (1994) es la suma de los valores parciales que se agregan en cada etapa de la producción; es decir, lo que realmente se le agrega al producto durante el proceso de producción, por tal razón en el sector primario y terciario, dicha agregación de valor es mínima, concentrándose en el sector secundario o de la transformación industrial (Cuadro 2.3).

Cuadro 2.3. Unidades económicas, personal ocupado y valor de la producción en el municipio de León, Guanajuato, 1999.

Sector	Nº de unidades económicas	Personal ocupado	Valor de la producción (millones de pesos)
Primario	17	172	0.159
Secundario	6637	95112	28571.000
Terciario	37099	189988	403.000
Total	43753	285272	28974.000

Productividad del agua

Industria manufacturera.- Los volúmenes de agua facturados por SAPAL en el período 2000–2004, disminuyeron en conjunto 1.46%, debido a mejoras en la red de conducción. El volumen ahorrado ascendió a 706.28 miles de metros cúbicos. Para el 2004, el volumen facturado ascendió a 47,632 miles de m³; de los cuales el 83.85% correspondió al consumo doméstico, el 7.77% al comercial, el 2.66% al industrial y 5.76% a otros usos.

Las tarifas promedio por metro cúbico de agua en el año 2004, fueron de 8.08, 23.23 y 21.43 pesos por m³ para uso doméstico, comercial e industrial, respectivamente. De esta manera, la proporción de los ingresos de SAPAL por concepto de servicio de agua fueron 74.19% de uso doméstico; 19.55% de uso comercial y 10.93% de uso industrial (SAPAL, 2007). El tipo de agua utilizada para los diferentes sectores ha sido la extraída de pozos profundos, que para el 2000 eran 107 y para el 2004 se tenían 123, es decir, en cuatro años el número de pozos se incrementó en 15%, resultado del crecimiento demográfico y económico en la región.

Considerando que el valor de la producción de la industria manufacturera y el resto de las actividades económicas para el año 2004 fue de 28,974 millones de pesos y el volumen facturado, de 7,691,652 m³, la productividad económica promedio del agua es 3,766 pesos por m³. Sin embargo, si el cálculo se hace por separado para la industria manufacturera y el resto de las actividades económicas, el indicador es de 22.51 y 0.06 miles de pesos, respectivamente. Esta situación se explica porque la industria manufacturera utiliza poca agua y el valor de los productos es alto (Cuadro 2.4).

Cuadro 2.4. Valor de la producción, volumen facturado y productividad económica del agua por actividad en el municipio de León, Guanajuato. 2004.

Actividad	Valor de la producción	Volumen facturado	Productividad
	(miles de \$)	(m ³)	(\$/m ³)
Industria manufacturera	28,570,999	1,268,999	22,514
Otras actividades económicas, excepto sector agropecuario y forestal	403,402	6,422,653	0,062
Total	28,974,401	7,691,652	3,766

Fuente: Información propia, generada con datos de INEGI (2004b) y SAPAL (2007).

El indicador referido al número de personas ocupadas por metro cúbico de agua utilizado en la industria manufacturera, en otras actividades económicas y en ambas en su conjunto, fue de 0.074, 0.029 y 0.037, respectivamente. Es decir, el uso del agua en la industria manufacturera genera 2.5 veces más empleo que en el resto de las actividades económicas.

Agricultura.- Para conocer en el sector agrícola del municipio de León, Guanajuato el indicador del valor de la producción por metro cúbico de agua, así como su eficiencia en términos físicos se consultó la información estadística generada por la SAGARPA (2003b) donde se reportó la producción, el volumen de agua utilizada, la superficie cosechada y el valor de la producción. Con esta información fue posible determinar los datos presentados en el Cuadro 2.5, donde se advierte mayor eficiencia económica en los cultivos hortícolas, principalmente el ajo, cuyo precio medio rural (y en general el de las hortalizas) puede variar de un año a otro por la volatilidad de precios debido a condiciones climáticas y de mercado.

Sin embargo, la productividad económica del agua en el sector agrícola es muy baja, comparada con la industria manufacturera. Información adicional a estos cultivos se muestra en el Cuadro 2.6, obtenido con base a la fuente de información estadística previamente señalada. Con la finalidad de confirmar y comparar la baja productividad del agua destinada a uso agrícola, Orón et al. (2006a) en la Comarca Lagunera, reportaron que entre otros cultivos la alfalfa y la avena mostraron una productividad económica de 0.80 y 1.32 \$/m³ de agua.

Cuadro 2.5. Productividad económica y física del agua de riego en los cultivos cíclicos y perennes del municipio de León, Guanajuato. 2003.

Cultivo	Productividad	
	Económica (\$/m³)	Física (kg/m³)
Maíz grano	2,35	1,47
Sorgo grano	2,29	1,76
Brócoli	6,24	2,02
Frijol	1,02	0,18
Papa	13,70	2,56
Alfalfa verde	2,80	5,76
Ajo	120.00	6.00
Cebolla	23.13	3.31
Trigo	3.42	1.55
Cebada	0.78	0.34
Avena	15.00	3.33

Fuente: SAGARPA, 2003b.

La baja participación del valor de la producción agropecuaria es una característica generalizada a nivel mundial y no sólo en la zona de estudio y la Comarca Lagunera; así, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, consigna que aún cuando el volumen de la producción agrícola se ha incrementado en los últimos años, la contribución al producto interno bruto se mantiene alrededor del 4% en la mayoría de los países miembros de ésta organización (OCDE, 2001). La estabilidad baja del PIB agrícola se debe al alto crecimiento de otros sectores de la economía y a la caída en los precios reales de varios productos agropecuarios.

Cuadro 2.6. Volumen y valor de la producción por tipo de cultivo en riego y temporal en el municipio de León. 2003.

Cultivo	Producción			Valor		
	Total	Riego (ton)	Temporal	Total	Riego (miles de pesos)	Temporal
Maíz grano	60506	27170	33336	94508	43259	51249
Sorgo grano	37019	22976	14043	48125	29869	18256
Brócoli	11910	11910	0	36885	36885	0
Frijol	1854	133	1721	8625	739	7887
Papa	51004	51004	0	273184	273184	0
Alfalfa verde	163080	163080	0	78278	78278	0
Pastos y praderas en verde	2100	2100	0	525	525	0
Membrillo	30	30	0	767	77	0

Fuente: SAGARPA, 2003b.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICO-SOCIOECONÓMICAS DE LOS PRODUCTORES

Valle de León

Los factores sociales y económicos prevaecientes en una región representan las condiciones en que viven los productores, como producto del aprovechamiento de los recursos con que cuentan y del medio en que se desenvuelven; para conocer tales condiciones en el ámbito agropecuario, a continuación se hace un análisis de tales condiciones para los pobladores rurales del valle de León por tipo de aprovechamiento de agua, (existen productores que cuentan con derechos de aguas de presa; agua proveniente de pozos de bombeo y aguas tratadas, generadas por la población urbana de la ciudad de León) ya que éstos tipos de aprovechamientos repercuten en los niveles tecnológicos utilizados en la agricultura y el nivel socioeconómico del productor.

Edad, años como productor y tamaño de parcela.- Estos parámetros representan la capacidad de los productores para adoptar cambios o limitan la incorporación de nuevas tecnologías (Cuadro 2.7). En el municipio de León, los productores agrícolas con riego de presa son los de más edad, con promedio de 62 años; seguidos por los que utilizan agua residual y de pozo, con 59 y 56 años, respectivamente; sin embargo, estos últimos registran menos años como productores. Los productores que utilizan agua de pozo profundo son los que cultivan mayores superficies agrícolas, seguidos por los que usan aguas residuales y de presa con 19.3, 9.3 y 5 ha, respectivamente. Lo anterior indica que la edad de los productores es alta, por lo que la incorporación de nuevas tecnologías, aunada a factores como baja capacidad de inversión y bajo tamaño de parcela pueden estar limitando la incorporación de nuevas tecnologías.

En un estudio a nivel nacional, Orona *et al.* (2006b) reportaron que el 60% de los productores agropecuarios cuentan con 35 o más años de edad, por lo que la fuerza de trabajo en el sector se tendría que renovar en el mediano plazo. En otra región similar en el estado de Durango, Orona *et al.* (2009) reportaron que en promedio, los productores se han dedicado 38 años a la actividad agropecuaria, similar a lo observado en el valle de León (Cuadro 2.7).

Crédito y organización.- Este indicador representa la capacidad del productor de invertir y la fortaleza de la actividad; el uso de crédito para la actividad agrícola tiene mayor presencia bajo riego con agua de pozo, seguida por la de agua tratada y de presa. Lo anterior se debe a la seguridad y oportunidad con que se dispone del recurso agua; situación que les ha permitido además cultivar mayores superficies y capacidad de inversión, pues el recurso agua está disponible en cualquier momento y el agua tratada también está disponible en forma permanente, no así el agua de presa, generada por los escurrimientos que se registran en la *Sierra de Lobos*, principalmente. En general, el uso de crédito para la actividad ganadera es escaso, situación que puede deberse a la baja rentabilidad e incertidumbre de éste sector (Cuadro 2.7).

La organización familiar para producir se presenta con más frecuencia en la agricultura de agua de presa con el 95%, seguida por la agricultura con agua residual y la de pozo con el 85 y 77%, respectivamente, ello como producto de lo ya comentado en el párrafo anterior, mayor capacidad de inversión por los tipos de agua utilizada en cada tipo de agricultura, que les permite la contratación de mano de obra. La participación en cooperativas es muy baja, solo el 9% de los productores con agua de pozo pertenece a este tipo de organizaciones para la producción. La agregación de valor a la producción agrícola es nula. Con fines de establecer una comparación del nivel organizativo existente en el agro nacional, en un estudio realizado por Orona *et al.* (2009) para el municipio de

San Juan del Cordero, Durango, la organización de los productores es mayor que la registrada en la zona de estudio, ya que para dicho lugar el 48% de los productores pertenecen a alguna asociación, formada para la consecución de recursos financieros y otras gestiones, la diferencia en este indicador se puede explicar por el tipo de actividad a que se dedican, pues en el municipio señalado los productores señalados se dedican más a la actividad ganadera (Cuadro 2.7).

Disponibilidad de vehículos y tractores.- Este factor muestra la posibilidad de mejorar la productividad de los cultivos y de comercializar con ventaja. Sobre este respecto, la agricultura desempeñada con agua de presa es la menos favorecida con la utilización de vehículos pick up, camiones de más de dos toneladas y tractores. Todos los productores que utilizan agua residual disponen de pick up y 87% de los que usan agua de pozo disponen de vehículos de más de dos toneladas, por lo cual, nuevamente queda de manifiesto que el tamaño de la parcela y disponibilidad permanente de agua es definitivo para tener unidades de producción capitalizadas. Respecto a la disponibilidad de tractores, 87% de los que tienen acceso al agua de pozo profundo disponen de esta maquinaria, lo que indica mayor nivel de capitalización e infraestructura (Cuadro 2.7).

Cuadro 2.7. Características socioeconómicas de los productores agrícolas de riego por fuente de agua en el municipio de León, Guanajuato. 2007.

Característica	Fuente de agua		
	Residual	Pozo profundo	Presa
Edad promedio del productor	59	56	62
Años como productor	39	38	36
Siembra ha/año	9.3	19.3	5
Crédito agrícola %	30	40	26
Crédito ganadero %	4	5	5
Organizado con su familia para producir %	85	77	95
Productores con mano de obra familiar %	65	70	73
Productor con camioneta pick up %	100	78	68
Con camionetas de más de 2 ton %	20	17	9
Cuentan con tractor %	46	87	23
Dedicado a otras actividades %	50	35	45

Tenencia de la tierra.- La mayor proporción de productores con tierras propias corresponde a la agricultura con agua de presa, seguida por la agricultura de pozo profundo y aguas residuales. Los valores observados fueron 81, 75 y 61%, respectivamente. Aún cuando la renta de tierras es baja, la agricultura de aguas residuales es la que registra el valor más alto (14%). La menor proporción de tierras rentadas se ubica en las áreas regadas con agua de presa. La más alta proporción de tierras en préstamo se presenta en la agricultura con aguas residuales (Cuadro 2.8). De acuerdo a lo encontrado sobre este aspecto, entre los productores que practican la agricultura con aguas tratadas es donde más se especula con el agua y la tierra pues es donde menos grado de certidumbre tiene en la tenencia de la tierra y donde más se presenta la renta este recurso, acompañado de derechos de agua. Además, por la cercanía que tienen estas tierras a la zona metropolitana de León, Guanajuato, resulta más variable y atractivo, dedicarse a actividades ajenas a la agricultura que en un momento

dado podrían ser más rentables. Respecto al nivel de sustentabilidad que pudiese haber del agua por tenencia y tipo de agua, no podría concluirse algo al respecto, puesto que en todos los casos, se busca aprovechar el recurso, sólo que el agua de pozo, por ser más segura y estable durante el año, es donde se practican cultivos más rentables.

Cuadro 2.8. Tenencia de la tierra en el valle de León, Guanajuato por fuente de agua. 2006.

Tenencia de la tierra	Agua residual (%)	Pozo profundo (%)	Agua de presa (%)
Propia	61	75	81
Rentada	14	9	7
En préstamo	25	16	12

Grado de tecnificación agrícola.- El estudio de la agricultura del valle de León Guanajuato permitió conocer al detalle que sin excepción, los productores utilizan el tractor en todos sus cultivos; es decir, el uso de tracción animal es prácticamente inexistente, al igual que la agregación de valor a sus productos y el acceso a la asistencia técnica.

En general, el uso de semillas mejoradas es aceptable en todos los cultivos a excepción de la cebada en la agricultura de agua residual y del frijol, el garbanzo y la alfalfa en la agricultura con agua de presa. El uso de fertilizantes, es menos común en la agricultura regada con aguas residuales debido a que el agua contiene suficientes abonos orgánicos. El uso de herbicidas e insecticidas, es igualmente, común en todos los cultivos, a excepción de pastos y la sandía (Cuadro 2.9). Respecto al tipo de tecnología de riego utilizada por fuente de agua, es en la agricultura desarrollada con aguas subterráneas, donde existe mejor nivel, pues aunque no se contabilizó la superficie, se pudo visualizar en campo el uso de sistemas de riego por aspersión y el de tubería multicompuertas en este tipo de predios.

Sierra de Lobos

Edad y escolaridad.- En esta zona, el rango de edad de los productores oscila entre 43 y 62 años, en la localidad Buenos Aires se observó el menor promedio de edad (43 años) y en El Derramadero el más alto, con 64 años. En lo referente a nivel de escolaridad, el 77% sabe leer y escribir. En las localidades de Buenos Aires, Los Alisos y San José de Otates se observó el mayor número de productores con algún grado de escolaridad; en contraste, las localidades de Cuesta Blanca, Mesa de Ibarilla y San Rafael (Cerro Verde) mostraron el menor.

El 58% de los productores de la zona cuenta con educación primaria, el 3.7% con educación secundaria; el 4.2% con media superior y el 32%, ningún grado de escolaridad. En las localidades Buenos Aires, Los Alisos y San José de Otates, residen los productores con mayor proporción de educación primaria, destacando Los Alisos, donde el 16% reportó contar con educación superior (Cuadro 2.10).

Cuadro 2.9. Proporción de productores que utilizan componentes tecnológicos por tipo de agricultura y cultivo en el Valle de León, Guanajuato. Año 2006-2007.

Cultivo	Uso de semilla mejorada	Uso de fertilizantes químicos	Uso de abonos orgánicos	Uso de herbicidas o insecticidas
Agua residual				
Maíz	100	55	36	100
Sorgo	100	38	38	100
Trigo	72	56	44	100
Avena	67	67	50	83
Alfalfa	61	61	50	83
Cebada	0	50	50	100
Aguacate	100	100	0	100
Agua de pozo profundo				
Maíz	78	91	48	87
Avena	90	20	50	40
Sorgo	100	91	36	100
Alfalfa	82	91	91	64
Trigo	60	80	40	100
Garbanzo	100	100	100	10
Pasto	100	100	100	0
Ajo	100	100	0	100
Agua de presa				
Maíz	57	95	48	87
Alfalfa	25	75	42	50
Frijol	25	0	63	63
Garbanzo	0	25	75	25
Avena	50	50	100	100
Calabacita, cebolla y repollo	100	100	50	100
Aguacate	100	100	0	0

Emigración laboral a EUA.- En la *Sierra de Lobos*, solo el 0.48% de los hijos de los productores emigran a Estados Unidos, lo que significa que esta cifra es mínima. Las causas de esta situación podrían estar relacionadas con la cultura y el arraigo de la unión familiar a la tierra; su enorme sentido de pertenencia, y el valor de la familia como célula social. En la localidad El Derramadero, ubicada hacia la parte baja de la sierra y cercana a la zona urbana de León, Guanajuato, se reportó la mayor emigración, con 1.7%. Cabe destacar que las localidades de Mesa de Ibarra y San Rafael no presentan emigración. Aún cuando no se preguntó la emigración a zonas urbanas nacionales, en todo caso, la emigración de la gente que habita la *Sierra de Lobos* es hacia León, Guanajuato. Sin embargo, también se observa que acuden a la ciudad sólo a trabajar y proveerse de bienes materiales y alimenticios, pero se transportan a sus localidades en autobuses que corren a esta zona.

Esparza y Santiago (2007) señalan que la migración en México a Estados Unidos ha tenido cada vez mayor relevancia con el paso del tiempo, constituyendo una válvula de escape para personas cuyo futuro económico es incierto, en todo caso, la población de *Sierra de Lobos* encuentra en el país oportunidades que les permiten la no emigración hacia aquel país.

Cuadro 2.10. Edad y escolaridad de los productores por localidad en la *Sierra de Lobos*, León, Guanajuato. Año 2006-2007.

Localidad	Edad promedio	Sabe leer y escribir	Estudios de primaria
		%	%
Buenos Aires	43	100	68
Cuesta Blanca	60	40	25
El Derramadero	64	77	55
Los Alisos	46	100	84
Mesa de Ibarra	62	50	34
Rincón Grande	60	83	60
San José de Otates	53	100	72
San Rafael	52	62	67

Uso del suelo y el agua.- El tamaño medio del predio en la zona de estudio asciende a 50 ha. Aproximadamente el 10% se destina a agricultura de temporal, el resto se utiliza en actividades ganaderas y forestales. Los productores con mayor superficie de producción radican en las comunidades de San Rafael, Los Alisos y El Derramadero (Cuadro 2.11). El 88% de las tierras son de propiedad privada (de los productores); el resto, ejidales. Las tierras ejidales pertenecen a Cuesta Blanca y San José de Otates.

Cuadro 2.11. Superficie promedio por productor en la *Sierra de Lobos*, municipio de León, Guanajuato.

Localidad	Superficie (ha)	Agrícola (ha)	Riego (ha)	Temporal (ha)
Buenos Aires	14.6	3.6	0	3.6
Cuesta Blanca	42.1	6.3	0.9	4.5
El Derramadero	53.9	9.7	5.0	4.5
Los Alisos	74.1	7.1	0.3	42.8
Mesa de Ibarra	24.1	5.6	0	13
Rincón Grande	42.6	4.5	1.0	24.7
San José de Otates	16.1	5.7	0	5.7
San Rafael	135.6	3.0	0	35.3

Agricultura y Tecnología de producción.- Todos los productores encuestados expresaron dedicarse a la siembra de cultivos agrícolas anuales, el 78% cultiva la asociación maíz/frijol, el 14% sólo maíz, el 6.5% avena y el 1.5% garbanzo. Toda la producción se destina al autoconsumo. De los productores encuestados, en promedio, el 13.5% utiliza semilla mejorada, destacando la localidad de San Rafael con el 50%. El 52% utiliza fertilizantes químicos y el 85% abonos naturales, en las comunidades de Buenos Aires, Cuesta Blanca, Rincón Grande y San José de Otates es donde más los utilizan.

El 32.5% utilizan herbicidas, siendo Cuesta Blanca, El Derramadero y San José de Otates los que más hacen uso de ellos y el 90% de los productores utiliza animales de tiro o yunta para barbechar y cultivar y sólo el 10% utiliza tractor (Cuadro 2.12).

Cuadro 2.12. Estructura porcentual de la tecnología agrícola utilizada en la Sierra de Lobos, León, Guanajuato.

Localidad	Semilla mejorada	Fertilizante químico	Abono natural	Herbicida	Tracción animal	Tractor
Buenos Aires	0	50	100	33	100	0
Cuesta Blanca	20	60	100	57	100	0
El Derramadero	0	44	77	66	50	50
Los Alisos	7	39	39	15	84	16
Mesa de Ibarra	0	33	83	16	100	0
Rincón Grande	16	100	100	16	100	0
San José de Otates	14	57	100	57	100	0
San Rafael	50	33	83	0	84	16

Aprovechamiento forestal.- Los aprovechamientos forestales, en la Sierra de Lobos, se destinan en 90% para combustible de consumo familiar y 10% para venta. Las especies colectadas son: encino (*Quercus spp.*), huizache (*Acacia spp.*), varaduz, casahuate (*Ipomoea murucoides Roem*) y garabaillo (*Mimosa spp.*). Los sitios de colecta se ubican en lomeríos (82%) y en las montañas (18%). Del 88% de las familias que realizan aprovechamiento forestal, sólo el 2% cuenta con permiso para llevar a cabo esta actividad (Cuadro 2.13). Las acciones que se realizan para conservar y mantener los aprovechamientos forestales son mínimas y no fueron constatadas: 2% fertiliza, 4% poda, 20% construye bordos y 38% expresó no efectuar acciones de conservación.

Cuadro 2.13. Participación porcentual de especies aprovechadas en la Sierra de Lobos, municipio de León, Guanajuato.

Localidad	Uso como Combustible	Encino	Varaduz	Casahuate	Huizache
Buenos Aires	100	7	22	-	43
Cuesta Blanca	100	11	34	44	11
El Derramadero	100	100	-	-	-
Los Alisos	72	30	22	22	15
Mesa de Ibarra	86	28	14	22	36
Rincón Grande	100	56	14	-	44
San José de Otates	86	45	25	12	18
San Rafael	100	50	20	10	20

La información contenida en el Cuadro 2.13 muestra el porcentaje de productores que utilizan la especie forestal indicada como combustible en cada uno de las localidades estudiadas, por ejemplo, en Los Alisos 72% de los productores los usa como combustibles y sólo 22% utiliza Casahuate, 30% encino, 22% varaduz y 15% huizache.

Ganadería.- Bovinos. El 85% de los productores cuentan con ganado mayor, poseen en promedio 43 vacas y toros, además de 17 becerros. Lo manejan en pastoreo extensivo, estabulado y semi-estabulado. La tecnología que utilizan se resume en: el 80% vacuna, desparasita y suplementa sales minerales (Cuadro 2.14). El 30% suplementa alimentos balanceados y el 50% mantiene las vacas junto con el semental. Sólo el 14% de los productores acostumbra bañar contra garrapatas y otros parásitos. El 90% de los productores aprovecha pastos nativos para alimentación del ganado y el 10%, además de los pastos nativos otras especies como chuparosa, tronadero y cola de zorra.

El aprovechamiento de pastos y matorrales por el ganado, permite el desarrollo de la ganadería en la zona; sin embargo, una carga animal excesiva, pudiese poner en riesgo la sustentabilidad del suelo, ya que al quedar sin cubierta vegetal es más propenso a erosión hídrica y eólica. Este impacto acarrearía además el azolvamiento de cuerpos de agua localizados en la parte baja y facilitaría las inundaciones aguas abajo, pues al no tenerse capacidad de infiltración de agua por la no presencia de suelo, el agua de lluvia escurriría más fácilmente. La formación de cárcavas y el avance de la erosión del suelo se aprecia ya en la *Sierra de Lobos*; sin embargo, no fue posible identificar las causas de ello, seguramente algunas de ellas son las que aquí se comentan, así como la deforestación de vegetación para abastecerse de madera para viviendas, corrales y combustible.

Para una zona plana de la cuenca del Río Nazas, municipio de San Luis del Cordero, Durango, Estrada *et al.* (2007), encontraron un tamaño promedio de hato bovino de 24 animales por productor bajo un sistema de producción semi-estabulado, pastoreándolo en las parcelas recién cosechadas y en la superficie comunal dentro del ejido y complementando su alimentación con rastrojo de maíz y frijol. Las diferencias se deben al tipo de ambiente agroecológico existente, pues mientras *Sierra de Lobos* tiene mejor condición climática y de precipitación, el municipio San Luis del Cordero es de clima semidesértico y menor precipitación (360 y 650 mm/año, respectivamente).

Cuadro 2.14. Superficie promedio de pastoreo y número de bovinos promedio por productor en la Sierra de Lobos, Guanajuato. 2007.

Localidad	Superficie (ha)	Ganado propio (%)	Toros y vacas (Nº)	Becerras (Nº)
Buenos Aires	13.16	84	9	9
Cuesta Blanca	36.80	80	4	2
El Derramadero	43.94	100	19	27
Los Alisos	61.50	100	102	12
Mesa de Ibarra	17.58	100	15	4
Rincón Grande	35.16	84	94	68
San José de Otates	47.57	86	8	9
San Rafael	105.60	50	93	4

Caprinos. El 70% de los productores de la zona de estudio tiene en promedio 38 cabras en su unidad de producción para producción de leche, cabritos y carne. La tecnología de producción consiste en lo siguiente: 70% vacunan y desparasitan, 14% proporciona alimento balanceado.

Porcinos. El 43% de los productores cuentan con ganado porcino, con promedio de cuatro cerdos por productor. Solo el 25% vacuna o desparasita y el 14% suplementa alimento balanceado.

Aves. El 83 % de los productores de la zona de estudio cuentan con ganado aviar, en promedio 18 gallinas y 6 guajolotes para consumo familiar. La tecnología de producción utilizada es prácticamente nula, únicamente contienen a sus animales con gallineros.

Actividades no agropecuarias

Los productores encuestados expresaron dedicarse a otras actividades además de actividades agropecuarias: 2% a la industria, 18% al comercio, 14% a la construcción y 6% a otras actividades. El 60% se dedica sólo a actividades agropecuarias.

Conocimiento del medio

El 31% de los productores de la zona conocen el concepto de *Área Natural Protegida*, el 30% saben que *Sierra de Lobos* es una *Área Natural Protegida* y solo el 20% tiene conocimiento sobre las actividades productivas y los lugares en que está permitido desarrollarlas, razón suficiente para determinar el grado de presión de las actividades agropecuarias sobre los recursos naturales en la zona y promover la educación, capacitación y mejoramiento tecnológico.

CONSIDERACIONES FINALES

Tomando en cuenta que el 92% de la población radica en zonas urbanas, las acciones que se realicen para el manejo integral de los recursos naturales el valle de León se podrían facilitar mediante políticas gubernamentales dirigidas a la población rural, que promuevan obras de conservación e incentiven el uso de los recursos agua, suelo y vegetación; implementando tarifas de agua más elevadas a los usuarios con mayor rentabilidad del recurso, para que éstas se canalicen a obras de conservación de los recursos agua y suelo en la *Sierra de Lobos*, donde se genera el agua.

El nivel educativo y la edad de los productores en el área rural, particularmente en la *Sierra de Lobos*, son una limitante que se debe considerar; asimismo, debe promoverse una conciencia del cuidado del suelo y la vegetación, apoyada por capacitación y subsidio a infraestructura de manejo ganadero. La importancia y trascendencia de las acciones que no tengan un beneficio económico directo a corto plazo o que impliquen algún costo difícilmente va a ser compartida por los habitantes de la región.

De acuerdo con la metodología seguida para estimar la productividad económica del agua, ésta está muy por debajo de la de la industria, del uso doméstico y el comercio; por otra parte, el rápido crecimiento demográfico de la ciudad de León y en consecuencia de las actividades no agrícolas, demanda mayores volúmenes de agua; es de esperar que en el futuro, el agua del subsuelo que actualmente se destina a la producción agrícola sea utilizada para el abasto urbano e industrial, pues su uso agrícola amenaza las reservas y su calidad, surgiendo así el mercado de aguas cuyo precio estará regido tanto por cantidad como por calidad.

En general, el grado de tecnificación de la agricultura que se desarrolla en el valle de León es mejor que el registrado para la *Sierra de Lobos* donde además se practican cultivos distintos. Algunos cultivos hortícolas como la papa, ajo y cebolla en el valle de León, podrían ser los más rentables ante una situación de escasez de agua; sin embargo, los cultivos intensivos como maíz, sorgo y cebada pueden mejorar la productividad del agua hasta en 20% si se incorporan tecnologías apropiadas.

LITERATURA CITADA

- Bhatia, R. and M. Falkenmark. 1992. Water resource policies and the urban: innovative approaches and policy imperatives, http://www.feem-web.it/nostrum/db_doc/WSP_1993.pdf, (Octubre, 2009).
- Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Guanajuato (CEASYG). 1998. Estudio Hidrológico y Modelo Matemático del Acuífero del Valle de León, Guanajuato. Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Guanajuato. 185 p.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2002. Programa Hidráulico Regional 2002-2006, Cuencas Centrales del Norte. Comisión Nacional del Agua. pp. 50-55.
- Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Guanajuato (CEASG). 1998. Estudio hidrogeológico y modelo matemático del acuífero del Valle de León. Plan Estatal Hidráulico de Guanajuato. Geofísica de exploraciones GUYSA, S.A. de C.V. Guanajuato, México. 296 p.
- Daily, G.C. 1997. Nature's Services. Societal dependence on natural ecosystems. Island Press, Washington, D.C., USA. 392 p.
- Espinoza A., J. J., J. M. P. Vázquez A., H. Salinas G., J. E. Rivera V., V. Trujillo L., I. Orona C., y G. Moctezuma I. 2004. El componente financiero en la formación de alianzas político-privadas para la investigación agropecuaria y agroindustrial en América Latina. Folleto Científico Núm. 1. INIFAP Campo Experimental La Laguna. Matamoros, Coahuila, México. 101 p.
- Elvira Q., J. R. 2006. El Cambio de uso de suelo y sus repercusiones en la atmósfera. pp. 191-194. En: Urbina-Soria, J. y J. Martínez-Fernández. (Compiladores). Más allá del cambio climático. Las dimensiones psicosociales del cambio ambiental global. Algunos peligros del cambio climático. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - Instituto Nacional de Ecología – Universidad Nacional Autónoma de México (SEMARNAT-INE-UNAM). 287 p.
- Esparza V., M. E. y M. J. Santiago C. 2007. Inversión de remesas en la economía rural del estado de Durango. AGROFAZ, Vol. (7): 105-118.
- Estrada A., J., I. Orona C., G. Rangel R. y M. Rivera G. 2007. La ganadería ejidal en la parte media de la cuenca del Nazas. Estudio de caso San Luis del Cordero, Durango. Folleto Técnico Núm. 9. INIFAP-CENID-RASPA, Gómez Palacio, Durango. 27 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2007. II Censo de Población y Vivienda 2005. Versión disco compacto.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2004a. Estados Unidos Mexicanos, XII Censo General de Población y Vivienda 2001; Principales Resultados por Localidad (Versión Disco Compacto). Año de edición 2004.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2002. Sistema Automatizado de Información Censal (SAIC). Censo económico 1999. Aguascalientes, México. Versión disco compacto.

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2004b. Sistema para la Consulta del Cuaderno Estadístico Municipal. León, Guanajuato. Edición 2004. Versión disco compacto.
- Lambin, E. F., B. L. Turner, J. Helmut, S. B. Geist, S. B. Agbola, A. Arild, J. W. Bruce, O. T. Coomes, R. Dirzo, G. Fischer, C. Folke, P. S. George, K. Homewood, J. Imbernon, R. Leemans, X. Li, E.F. Moran, M. Martimore, P. S. Ramakrishnan, J. F. Richards, H. Skanes, W. Steffen, G.D. Stone, U. Svedin, T. Veldkamp, A. Vogel and C. J. Xu. 2001. The cause of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11:261-269.
- Losada V., A. 2002. Uso eficiente del agua en la agricultura sostenible. Aspectos Medio Ambientales de la Agricultura. Libro Blanco de la Agricultura y Desarrollo Rural. Madrid, España. pp. 1-4.
- López C., B. 1996, Nuevas Infraestructuras Hidráulicas o Conservación del Agua. Política de Obras Públicas, Jul.- Ago. No. 3.356. pp. 19-42.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). 2001. Environmental Indicators for Agriculture. Methods and Results, Volume 3. Paris, France. 409 p.
- Orona C., I., J. J. Espinoza A., H. Salinas G., P. Andrade S. y M. Valencia C. 2006b. Indicadores de tipo económico, social y ambiental de la agricultura y su relación con el medio ambiente. En "Memorias del 1er taller de trabajo sobre criterios e indicadores de sustentabilidad agrícola en la cuenca del Río Nazas". Publicación Especial No. 51. INIFAP-SAGARPA. Matamoros, Coahuila. 144 p.
- Orona C., I., J. Estrada A., G. Rangel R., J. J. Espinoza A., C. Vázquez V. y E. Salazar S., 2009. Ganadería ejidal y emigración en el municipio de San Luis del Cordero, Durango, Norte de México. *Revista Mexicana de Agronegocios*. Vol. 25 páginas 46 – 57. Sociedad Mexicana de Agronegocios. México.
- Orona C., I.; Cueto W., J. A.; Murillo A., B.; Reta S., J.; García H., J. L.; González C., G. y Troyo D., D. 2006a. Características tecnológicas de la agricultura de riego del acuífero Villa Juárez, Durango. Norte de México. *Revista AGROFAZ* Vol. 6, No. 1. FAZ-UJED, Venecia, Durango
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2003b. Delegación en el Estado. Subdelegación de Administración y Finanzas; Unidad de Administración de Recursos Financieros.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2003a. Anuario Estadístico de la Producción Agropecuaria del Estado de Guanajuato. Subdelegación Agropecuaria. Guanajuato, Guanajuato.
- Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de León, Guanajuato (SAPAL). 2007. Gerencia de Administración y Finanzas. Falta nombre del documento
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2009. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. México. 2008. pp 358.

- Vitousek, P. M., H.A. Mooney, J. Lubchenco, J.M. Melillo. 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 277: 494-499. World Resources Institute. 2000. A guide to world resources 2000-2001: People and Ecosystems, The Fraying Web of Life. Washington DC. 24 p.
- Zorrilla A., S. y Méndez J., S. 1994. Diccionario de Economía. Segunda Edición, Editorial Limusa, Noriega Editores, México, D.F. 296 p.



José Villanueva Díaz
Julián Cerano Paredes
Juan Estrada Ávalos
Eunice N. Cortés Barrera
Vicenta Constante García

CAPÍTULO III

ANÁLISIS HISTÓRICO DE LA PRECIPITACIÓN

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la variabilidad hidroclimática es fundamental para analizar eventos de alta y baja frecuencia y determinar las posibles tendencias a largo plazo. El estudio de la variabilidad del clima con base en los registros de estaciones meteorológicas proporciona una imagen parcial de la fluctuación climática en el tiempo. Los registros climáticos instrumentales tienen las limitantes de corta extensión, generalmente no mayor de 50 años, calidad dudosa, incongruencia y periodos con datos perdidos, lo que condiciona el análisis confiable de la variabilidad histórica; no obstante, la información se utiliza en la planeación de las actividades agropecuarias y forestales, el aprovechamiento de los recursos hídricos, la construcción de estructuras hidráulicas, estudios de calentamiento global, entre otros, con resultados que frecuentemente provocan errores de consecuencias sociales y económicas de gran magnitud (Villanueva *et al.*, 2005).

Los métodos indirectos para el análisis de la variabilidad hidroclimática a través del tiempo en una región, consisten en la utilización de fuentes “proxy”, también conocidos como métodos de inferencia, con los cuales es posible estimar las condiciones climáticas ocurridas en el pasado (Bradley, 1999). Una de estas fuentes la constituye los anillos de árboles o bandas de crecimiento anual, que a diferencia de otras fuentes indirectas (núcleos de hielo, sedimentos lacustres, larvas coralinas, o nidos de *Neotoma*) son de alta resolución, ya que son fechados exactamente el año de su formación y se pueden obtener de especies arbóreas existentes en casi todos los ecosistemas forestales presentes en México (Stahle *et al.*, 2000).

La extensión de las series de tiempo que se pueden generar a partir de los anillos de árboles es variable en función a la edad de las especies utilizadas; sin embargo, en algunas de ellas es posible extenderlas más de 1,500 años (Villanueva *et al.*, 2007a). Actualmente, con algunas series dendrocronológicas desarrolladas en México se han cubierto adecuadamente los últimos 500 años, es decir, desde el período colonial a la fecha, aunque algunas de ellas se extienden hasta la época precolombina (Villanueva *et al.*, 2009).

El estado de Guanajuato cuenta con amplio acervo de archivos históricos debido a la riqueza mineral que le dio origen, factor fundamental que contribuyó durante el período colonial al establecimiento de importantes núcleos de población, los cuales actualmente son grandes núcleos urbanos con alta demanda de recursos hídricos con fines de uso agrícola, industrial y urbano. Dentro de los sectores productivos, el de mayor consumo de agua es el agrícola, que en el estado de Guanajuato utiliza el 75%, proporción similar a la de la mayoría de las entidades en el país. El rápido crecimiento demográfico y la consecuente actividad comercial e industrial han provocado la sobreexplotación de los acuíferos, lo que ha originado problemas de calidad de agua y asentamientos de suelo (INEGI, 1998; INE, 2003).

Muchos de los archivos históricos en el estado de Guanajuato contienen información de eventos hidroclimáticos extremos que afectaron seriamente a los pobladores, esta información puede ser verificada y ampliada en retrospectiva por medio del estudio de las series de anillos de árboles y de esta forma determinar la frecuencia histórica y la posible tendencia futura de los eventos. La información que se obtiene contribuye en gran medida a determinar las fluctuaciones en intensidad y frecuencia de los eventos de precipitación.

En el presente estudio se abordaron cuatro objetivos principales:

- Integrar la red de cronologías de anillos de especies de bosques mixtos y de ecosistemas de galería, para determinar la variabilidad hidroclimática histórica en la parte alta y baja de las cuencas, que rodean la ciudad de León, Guanajuato.
- Determinar la periodicidad de los eventos climáticos históricos de alta y baja frecuencia.
- Analizar los periodos con sequía y su impacto social y económico en el área de estudio.
- Determinar el impacto histórico de los patrones de circulación atmosférica global, caso específico de El Niño-Oscilación del Sur, El Monzón de Norteamérica y su influencia en la precipitación.

METODOLOGÍA

Se realizaron visitas exploratorias en la *Sierra de Lobos*, serranías circunvecinas y sitios semiáridos en el norte de Guanajuato con vegetación arbórea, (principalmente con pino piñonero) y en ecosistemas de hábitat ripario (bosques de galería) presentes en la región centro-sur del estado, con la finalidad de ubicar y coleccionar núcleos de crecimiento de las especies con potencial dendrocronológico (Figura 3.1; Cuadro 3.1).

Los núcleos de crecimiento colectados se procesaron en el Laboratorio de Dendrocronología del INIFAP en Gómez Palacio, Durango, acorde a los métodos dendrocronológicos estándar (Stokes y Smiley, 1968). La fecha exacta de los anillos de crecimiento se corroboró con el programa COFECHA (Holmes, 1983) y posteriormente fueron estandarizadas con una exponencial negativa, línea recta o ambas (Cook, 1987). A las series de tiempo generadas se les ajustó una curva decenal flexible para resaltar eventos de baja frecuencia (Cook y Peters, 1981).

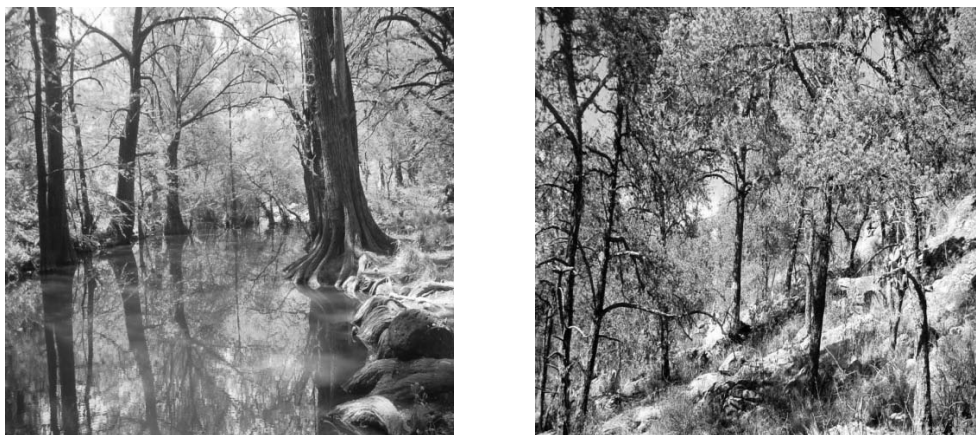


Figura 3.1. Sabino o ahuehuate (izquierda) y pino piñonero (derecha) especies utilizadas para la generación de series dendrocronológicas en Guanajuato.

Los índices dendrocronológicos observados en cada sitio se compararon entre sí para el período común 1917 – 2000 y para subperíodos de 20 años. Las comparaciones permitieron analizar las semejanzas y discrepancias entre cronologías y el comportamiento en el tiempo. Las cronologías

semejantes se integraron en cronologías regionales, las cuales son en general más robustas en términos de sensibilidad climática y pueden ser más representativas de la variabilidad que caracteriza a una región o cuenca hidrológica.

A partir de las cronologías se elaboraron series de tiempo que complementadas con la información climática instrumental disponible permitió efectuar la reconstrucción histórica de la precipitación y los flujos de agua, con los que se determinó la variabilidad hidroclimática regional, la secuencia histórica y la posible tendencia futura (Fritts, 1976).

La variabilidad hidroclimática se correlacionó con los índices de los patrones de circulación atmosférica global y se determinó la influencia de los mismos en la región. Actualmente, el efecto del fenómeno El Niño tiene cierta predictibilidad debido a que se efectúa el monitoreo continuo de este sistema meteorológico mediante boyas e imágenes de satélite en el Pacífico ecuatorial, por lo que es posible anticipar en un corto plazo, el efecto que tiene sobre la precipitación en la región, lo cual es de utilidad para el aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos.

A las cronologías reconstruidas se les ajustó una curva decenal flexible para destacar los eventos de baja frecuencia y comparar el comportamiento entre reconstrucciones. Los períodos secos y húmedos detectados en las reconstrucciones se cotejaron con la información histórica documentada y con otras reconstrucciones dendroclimáticas desarrolladas para otras regiones del país. Lo anterior se fundamentó en el hecho de que fenómenos climáticos de gran intensidad afectan amplias áreas del país y hasta varios países a la vez (Stahle *et al.*, 1998). El determinar la cobertura de los eventos es un indicio de la magnitud del impacto ecológico, social y económico que pueden ejercer.

RESULTADOS

Red de cronologías

Se realizaron cinco colectas de núcleos de crecimiento, dos de pino piñonero (*Pinus cembroides* Zucc.) y tres de sabino o ahuehuete (*Taxodium mucronatum* Ten.) (Cuadro 3.1; Figura 3.2).

Aunque el propósito inicial fue producir series de tiempo dendrocronológicas superiores a 300 años de extensión, las cronologías más extensas en este estudio no superaron 250 años; no obstante, la extensión de las cronologías superó ampliamente las series de los registros climáticos disponibles y fue suficiente para determinar la variabilidad hidroclimática, la tendencia y el impacto de los patrones circulatorios en dicho período.

Cuadro 3.1. Sitios de colecta de núcleos de crecimiento para el desarrollo de series dendrocronológicas en Guanajuato, Jalisco y Querétaro.

Estado	Sitio	Clave	Coordenadas y altitud (msnm)	Período	Tipo ¹	Especie ²
Guanajuato	Manuel Doblado	MDO	20.65, 101.88; 1,735	1770 – 2006	RW	TM
	Ibarra	IBA	21.41, 101.52; 2,300	1785 – 2007	RW	PC
	Jerécuaro	JER	20.14, 100.52; 1,950	1880 - 2007	RW	TM
	Paloma	PAL	21.40; 101.12; 2,300	1850 - 2007	RW	PC
	Chamácuaro	CHA	21.35, 100.88; 1,816	1860 - 2000	RW	TM

¹RW= Ancho de anillo total; ²TM= *Taxodium mucronatum*; PC= *Pinus cembroides*.

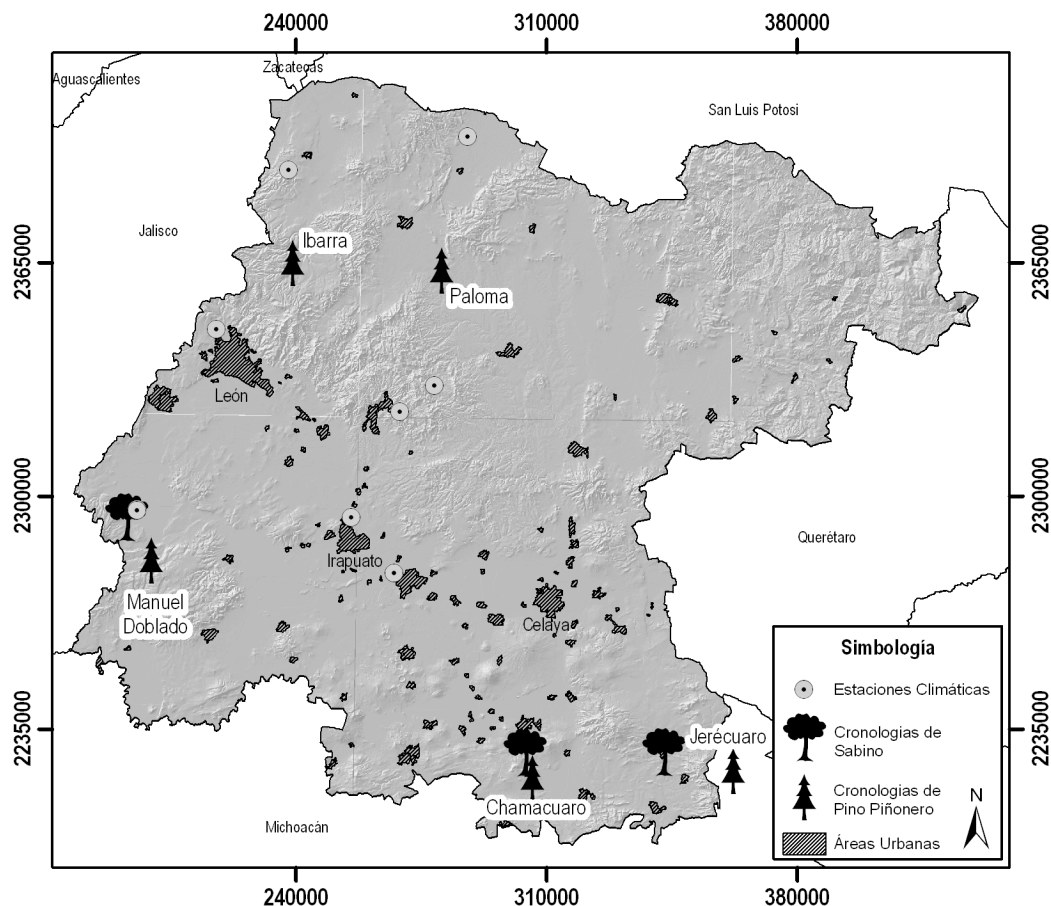


Figura 3.2. Ubicación geográfica de los sitios de colecta de núcleos de crecimiento de árboles de sabino y de pino piñonero en Guanajuato.

Las cronologías de ancho total de anillo para el estado de Guanajuato mostraron semejanzas y discrepancias para algunos periodos, lo cual es indicativo de que responden a condiciones climáticas generales que afectan todo el estado, pero también a condiciones climáticas propias del sitio donde se desarrollan, lo que origina diferencia en crecimiento (Figura 3.3).

El análisis del periodo común (1880 – 2000) en las cronologías mostró que las de ahuehuete correlacionaron mejor y particularmente la de Manuel Doblado con Jerécuaro ($r = 0.215$, $p < 0.01$, $n = 121$), así como la de Chamacuario y Jerécuaro ($r = 0.28$, $p < 0.001$, $n = 121$); esta relación se incrementó al comparar sub-periodos de 20 años, principalmente para los últimos 50 años. Las cronologías de pino piñonero a pesar de estar geográficamente cercanas, no mostraron una correlación significativa, posiblemente por ubicarse en cuencas hidrográficas distintas y sujetas a condiciones microclimáticas muy particulares.

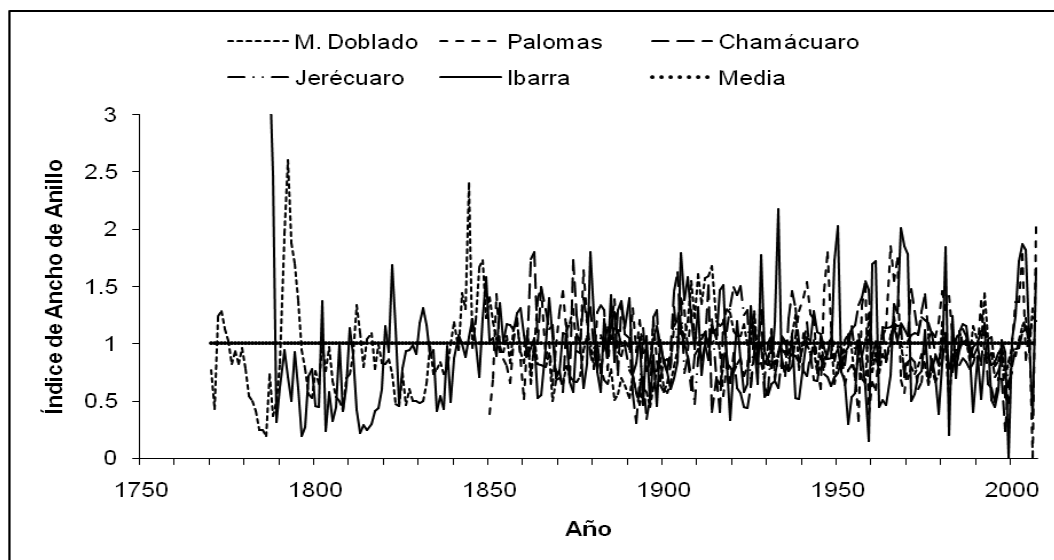


Figura 3.3. Comparación gráfica de los índices anuales de cronologías de anillo total desarrolladas sólo para el estado de Guanajuato.

El análisis de correlación y de componentes principales para los índices de anillo total de las cronologías de sabino, indicaron que las cronologías de Manuel Doblado y Jerécuaro tuvieron una respuesta climática similar, por lo cual se integraron ambas series para reconstruir la precipitación regional del centro-sur del estado de Guanajuato en los últimos 238 años (1770 – 2007). La integración de estas series se realizó al combinar todas las muestras fechadas de ambos sitios, correr los programas de calidad de fechado y de generación de las series dendrocronológicas con los programas específicos de estandarización de anillos de crecimiento. La serie resultante fue más robusta en términos de captar en mayor grado la señal climática regional.

Reconstrucción de la precipitación

Con el análisis de correlación entre los índices dendrocronológicos y los registros de precipitación regional promedio procedentes de 10 estaciones meteorológicas del estado de Guanajuato para el período de 1959 a 2004 (Figura 3.4), se determinó que el período del año en que la precipitación influye de manera significativa en el crecimiento de los árboles incluye los meses de enero a mayo ($r= 0.75$, $p<0.05$). Por otra parte, el análisis de regresión entre los índices de ancho de anillo y la precipitación estacional para el período total de registros meteorológicos disponibles, produjo un modelo lineal bivariado altamente significativo, por lo que se utilizó para propósitos de reconstrucción. El modelo generado fue el siguiente:

$$Y_t = -144.71 + 229.24 * X_t$$

Donde: Y_t , es el valor de la precipitación reconstruida para el periodo enero-mayo de un año particular (mm) y X_t , es el índice de anillo total en el mismo año (adimensional).

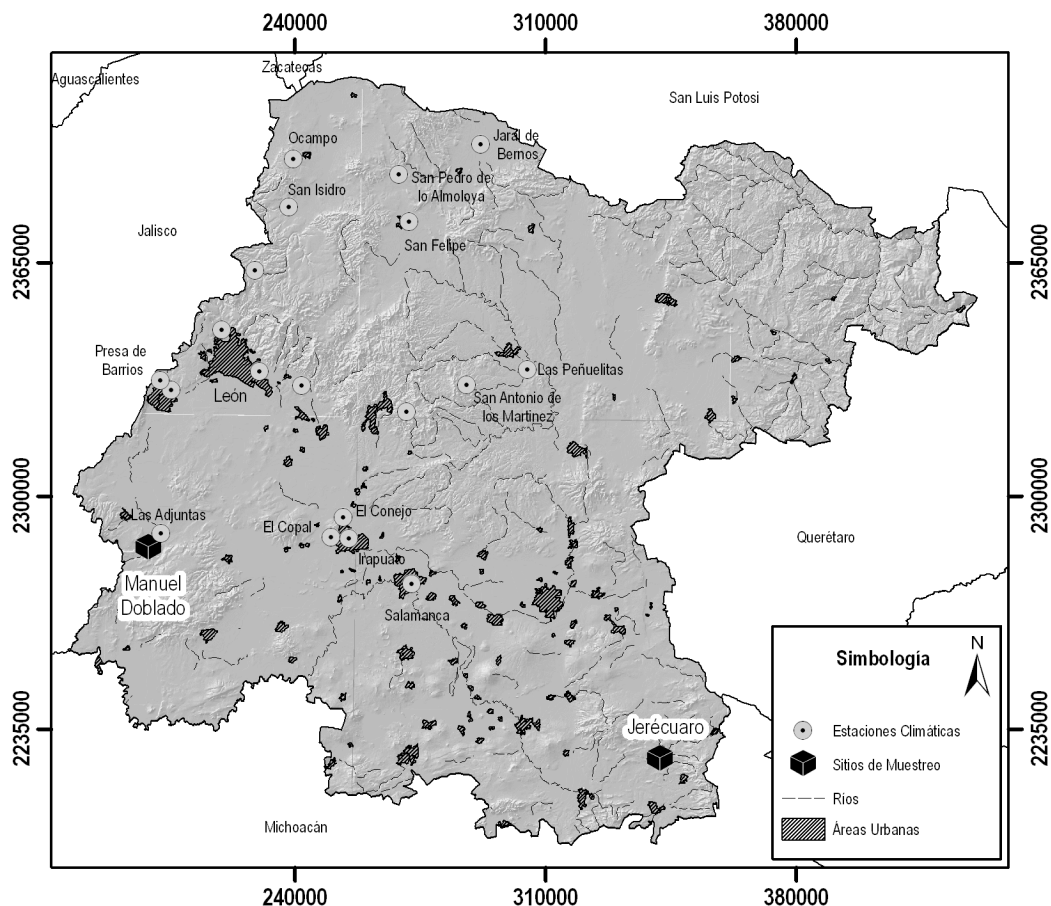


Figura 3.4. Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas empleadas, para generar la base de datos de precipitación regional en el centro-sur del estado de Guanajuato.

La reconstrucción de la precipitación invierno-primavera (enero-mayo) para la región centro-sur del estado de Guanajuato, comprende un período de 238 años que se extiende de 1770 a 2007 y muestra variabilidad de alta y baja frecuencia en los patrones de precipitación estacional para esta región (Figura 3.5).

Sin duda, la precipitación de verano es la de mayor importancia socioeconómica en esta región; sin embargo, en términos de crecimiento de especies de bosques de galería como el ahuehuete, la precipitación invierno-primavera también influye en el crecimiento y seguramente en la recarga de acuíferos y la productividad de los ecosistemas en general. Así mismo, la precipitación ocurrida en esta época del año es indicativa de la influencia de patrones circulatorios, en especial la fase cálida de El Niño y frentes fríos que pueden afectar esta región del país.

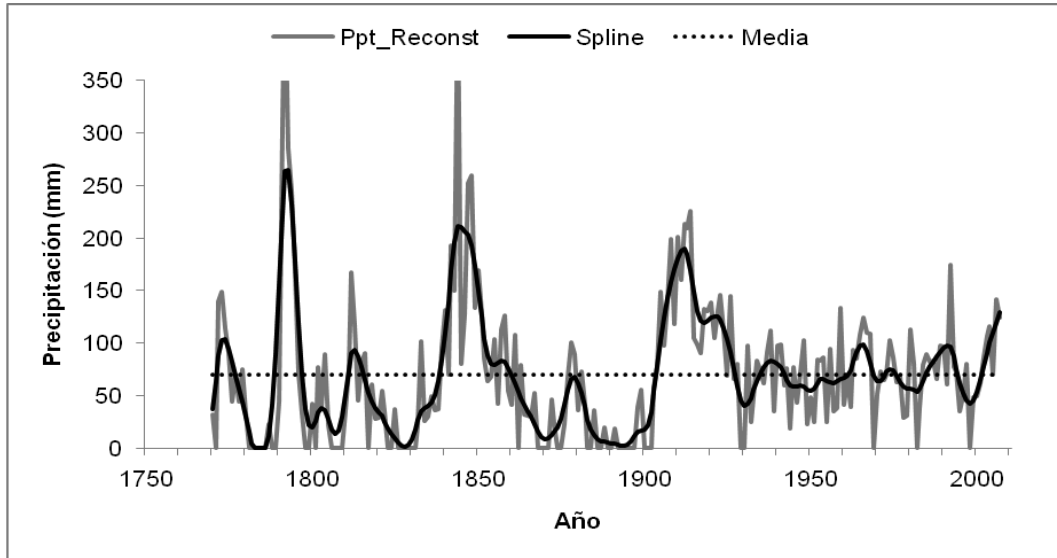


Figura 3.5. Precipitación reconstruida enero-mayo período 1770-2007 para la región centro-sur de Guanajuato con base en la cronología regional de *Taxodium mucronatum*. La reconstrucción indica la presencia de periodos húmedos ocurridos en las décadas de 1790, 1840, 1910-1920, 1960 y 1980. Se presentaron episodios secos en las décadas de 1780, 1800, 1820, 1860-1900, 1930 y 1990.

Se efectuó una segunda reconstrucción de la precipitación para el noroeste de Guanajuato con base en la cronología de anillo total de pino piñonero (*Pinus cembroides*) colectada en el sitio Ibarra, municipio de Ocampo, Guanajuato. Para comparar esta cronología con los registros de precipitación, se conformó una red regional compuesta por las estaciones meteorológicas: Laborcita, Comanjilla, El Conejo y el Copal que cubre el período de 1977 a 2004 (Figura 3.6). La versión estándar de la cronología de anillo total correlacionó significativamente ($r = 0.71$, $p = 0.000039$) con la precipitación acumulada en el periodo primavera-verano (marzo-septiembre), por lo cual se generó un modelo lineal bivariado para la reconstrucción. El modelo lineal fue el siguiente:

$$Y_t = 313.7 + 242.4 * X_t$$

Donde: Y_t , es el valor de la precipitación reconstruida para el periodo enero-mayo de un año particular (mm) y X_t , es el índice de anillo total en el mismo año (valor adimensional)

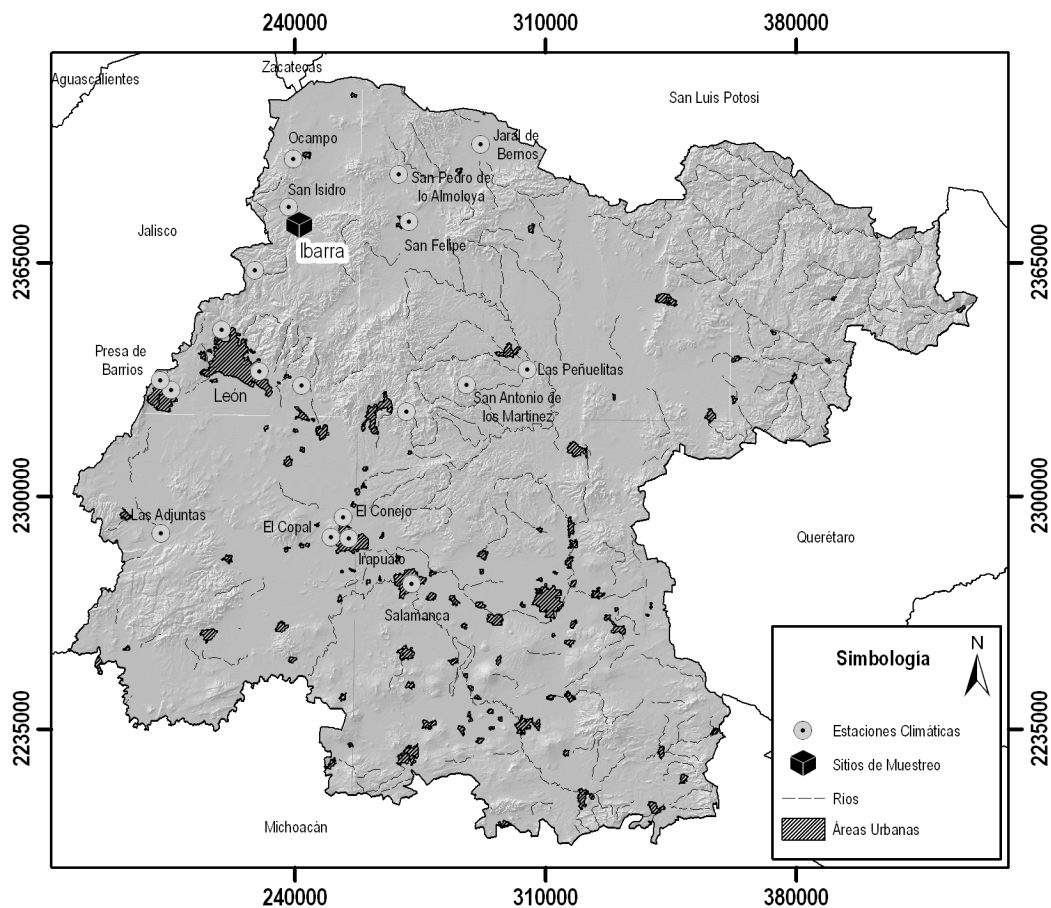


Figura 3.6. Ubicación geográfica de los sitios de colecta de núcleos de crecimiento de pino piñonero y de las estaciones meteorológicas utilizadas para generar la base de datos de precipitación regional en el noroeste de Guanajuato.

Con la aplicación del modelo se obtuvo una reconstrucción de la precipitación que se extiende 208 años (1790 – 2007) e incluye la precipitación acumulada de marzo-septiembre, período en el que se presenta la mayor precipitación durante el año y que es fundamental para el establecimiento de cultivos de temporal, recarga de acuíferos y producción de forrajes (Figura 3.7).

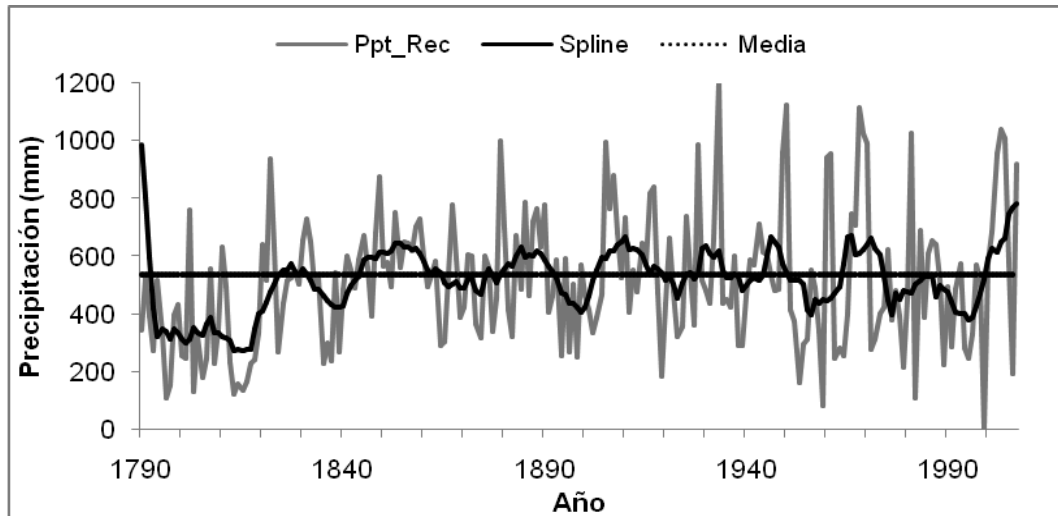


Figura 3.7. Precipitación estacional reconstruida marzo-septiembre. La línea gris representa los valores acumulados de precipitación durante el periodo para un año específico. La reconstrucción muestra la ocurrencia de años muy secos en 1789, 1796-1797, 1803, 1813-1818, 1835-1837, 1864-1865, 1894-1896, 1919, 1953, 1959, 1982, 1999, 2006 y años muy húmedos en 1803, 1822, 1849, 1867, 1879, 1905, 1928, 1933, 1950, 1960-1961, 1968-1970, 1981, 2003-2004, 2007.

En el período estacional (marzo-septiembre) reconstruido, ocurre el 87% de la precipitación total anual en el noroeste del estado; por lo tanto, es representativa de la precipitación en la región y es un buen indicador de la variabilidad hidroclimática histórica de los últimos 200 años.

La serie de crecimiento de pino piñonero colectado en el sitio “La Paloma”, municipio de San Felipe en las cercanías a la sierra del Cubo, Guanajuato, mostró un comportamiento diferente a la cronología de piñonero del sitio Ibarra, no obstante la relativa cercanía entre los sitios. Con fines comparativos, se integró una estación meteorológica regional con las estaciones San Pedro de los Almoloya, Pañuelitas, Lobos, San Isidro, Ocampo y San Felipe. Se observó correlación significativa ($r = 0.70$, $p < 0.01$) entre la versión estándar de la cronología y la precipitación total anual del período 1979 – 2003. Con base en esta relación se generó una ecuación lineal bivariada con fines de reconstrucción. No fue posible verificar la reconstrucción con datos climáticos independientes debido a lo limitado de los registros de precipitación disponibles. La ecuación lineal bivariada fue la siguiente:

$$Y_t = 234.7 + 183.7 * X_t$$

Donde: Y_t , es el valor de la precipitación reconstruida anual (mm) y X_t , es el índice de anillo total para el mismo año (valor adimensional)

Al aplicar el modelo a los índices dendrocronológicos se generó una reconstrucción de precipitación anual para los últimos 158 años (1850 – 2007), (Figura 3.8).

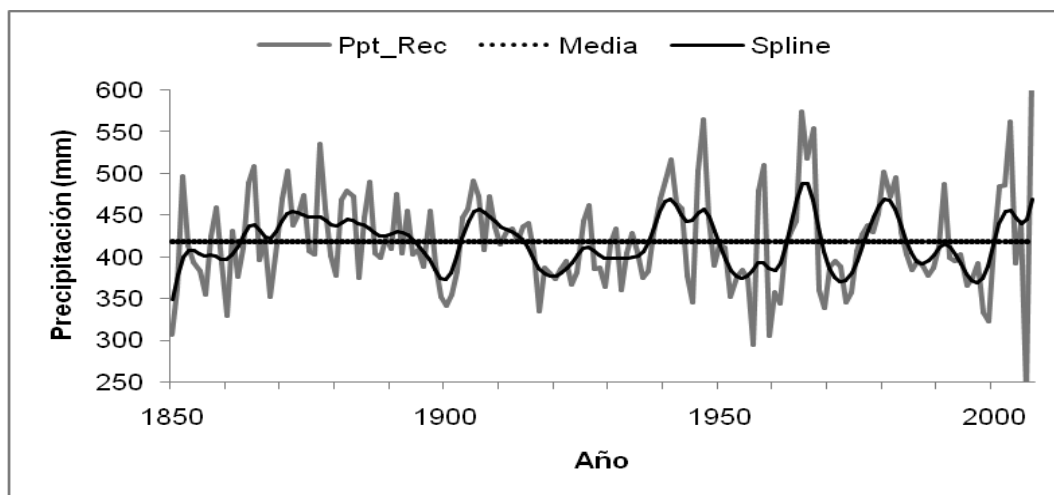


Figura 3.8. Precipitación anual reconstruida que muestra la presencia de años muy secos en 1850, 1860, 1900, 1918, 1945, 1956, 1959, 1969, 1973, 1998 y 2006. Se presentaron años húmedos en 1852, 1865, 1877-1878, 1887, 1905, 1941, 1947, 1965-1967, 1980, 1982, 1991, 2003 y 2007.

Al comparar las curvas flexibles decenales de baja frecuencia (*splines*); se observa, que no obstante la baja correlación entre las reconstrucciones de precipitación con las cronologías de piñonero colectados en los sitios Ibarra y La Paloma, se observa cierta sincronía en sus tendencias, particularmente posterior a 1900 (Figura 3.9). Los períodos en los que se presentó sincronía entre ambas reconstrucciones, corresponden a la presencia de sequías generalizadas que se presentaron en Guanajuato y otras regiones del país para los periodos 1890-1900, 1920, 1950, 1970 y 1990, lo que se presume está relacionado a la presencia de patrones circulatorios de amplio impacto.

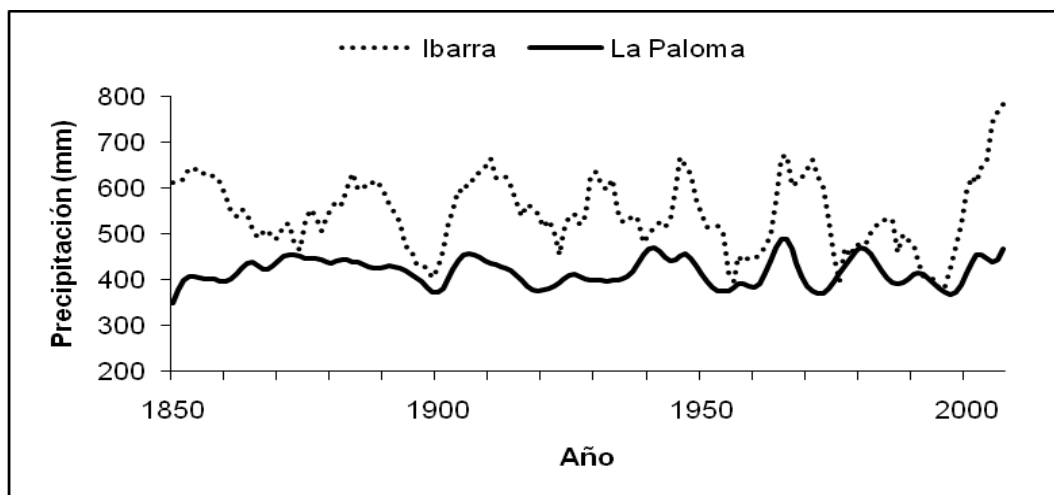


Figura 3.9. Curvas flexibles decenales que destacan los eventos de baja frecuencia para las reconstrucciones de precipitación generadas con cronologías de pino piñonero colectados en los sitios Ibarra y La Paloma, Guanajuato comparadas en el período común 1850-2007.

Reconstrucción de flujos

La cronología regional de anillo total de *Taxodium mucronatum* del centro-sur de Guanajuato, se utilizó para reconstruir flujos en las corrientes fluviales. La cronología se correlacionó con los registros de la estación hidrométrica “Las Adjuntas” ubicada en la región hidrológica N°.12, cuenca Río Lerma – Salamanca, corriente río Turbio, que comprende la porción central y suroriental del estado de Guanajuato y ocupa una superficie de 10,400 km², que corresponde al 33.8% de la superficie estatal. Al comparar la cronología con datos hidrométricos mensuales para un período de 30 años (1954-1983) se observó correlación significativa ($p < 0.05$) para los meses de julio a diciembre del año previo a la estación de crecimiento (Figura 3.10).

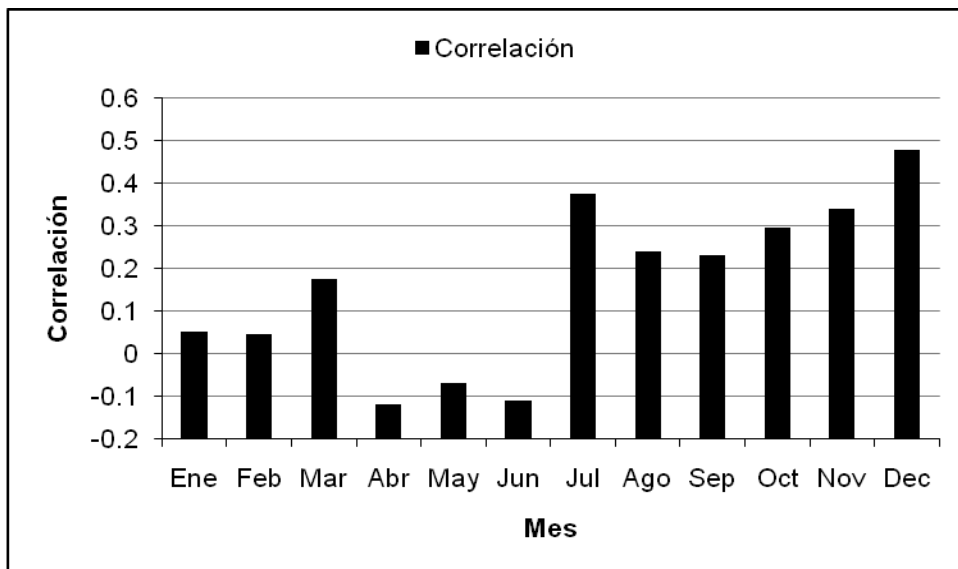


Figura 3.10. Coeficiente de correlación entre la cronología regional (Manuel Doblado-Jerécuaro) de anillo total de *Taxodium mucronatum* y el flujo acumulado mensual para el período de 1954 a 1983.

Dado que los registros hidrométricos del flujo no semejaban una distribución normal, se sometieron a las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk ($= 0.241$, $p < 0.01$) y Kolmogorov-Smirnov ($= 0.726$, $p < 0.00001$) sugeridas por Brito *et al.* (2003). Las pruebas indicaron que los registros de flujo carecen de normalidad ($p > 0.05$).

Al aplicar las diversas transformaciones a los registros hidrométricos y compararlos con los índices dendrocronológicos no se observó mejoría en el coeficiente de correlación entre ambas variables. De esta manera, la mejor correlación ($r = 0.78$, $p < 0.0001$) se observó entre los registros hidrométricos no transformados del período estacional julio-diciembre del año previo a la estación de crecimiento y los índices dendrocronológicos para el período 1954 – 1983. Por lo anterior, se utilizaron los datos sin transformar para fines de reconstrucción. El flujo acumulado del período julio-diciembre constituye el 97% del escurrimiento total anual que se estima en un volumen de 85,769 miles de metros cúbicos.

Debido al corto período con registros hidrométricos confiables, no fue posible realizar las pruebas convencionales de calibración y verificación, por lo que sólo se aplicó la prueba de calibración en el

total de los registros disponibles 1954 a 1983. Los resultados indican que la serie dendrocronológica explica 64% ($r = 0.80$, $p < 0.0001$) de la variabilidad de los flujos en el período.

La subrutina VERIFY5 del Programa Dendrocronológico de la Universidad de Arizona indicó que la calibración fue significativa ($p < 0.05$) para los estadísticos de correlación, reducción de error, valor de "t" y primera diferencia significativa. El modelo de regresión obtenido para el período 1954-1983 ($r = 0.80$, $p < 0.000008$) se utilizó para reconstruir el flujo en el período total de la serie dendrocronológica.

El modelo bivariado utilizado fue el siguiente:

$$Y_t = -402073.0 + 577478.0 * X_t$$

Donde:

Y_t es el flujo reconstruido julio-diciembre para un año en particular (miles de metros cúbicos).

X_t es el índice estandarizado de anillo total (valor adimensional).

El flujo reconstruido verano-otoño se extiende por 238 años (1770 a 2007), con media de 148.00 millones de metros cúbicos (Figura 3.11), en donde se observa la variabilidad de alta y baja frecuencia de flujos que han caracterizado al río Turbio en dicho período. Es importante señalar que el flujo del período estacional reconstruido es superior al 95% del total anual.

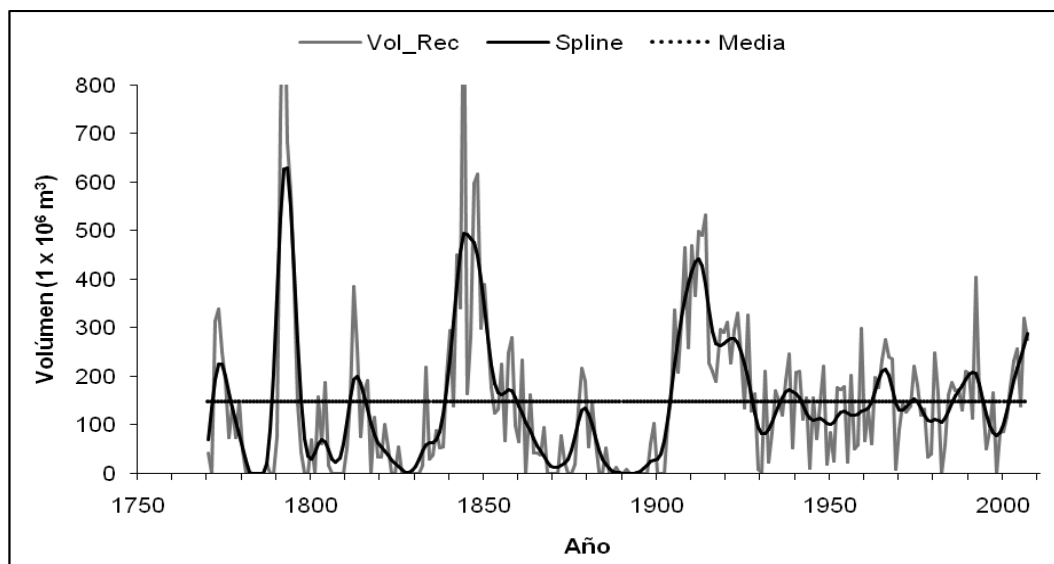


Figura 3.11. Reconstrucción histórica del flujo hidrológico estacional julio-diciembre, por un lapso de 238 años (1770 a 2007) para la cuenca Río Lerma, corriente Río Turbio, Manuel Doblado, Guanajuato.

La reconstrucción de flujos muestra los años en los que los volúmenes fueron superiores a la media: 1774, 1793, 1813, 1845, 1848-1849, 1909, 1911, 1914, 1915 y el más reciente 1993. Destacan 1793 y 1845, cuando los volúmenes de flujo excedieron 1,000 millones de metros cúbicos.

Flujos inferiores a la media se muestran en los periodos 1779-1790, 1800-1840 (de 1814-1816 volúmenes ligeramente superiores a la media), 1863-1906, 1945-1963, 1978-1987 y 1996-2004. De 1900 a la fecha, no aparece evento extremo alguno con disminución de flujo como los reconstruidos en las primeras décadas del siglo XIX y las últimas décadas del mismo siglo. A partir de 1930 no se muestran flujos con volúmenes que excedan significativamente la media, como los reconstruidos en intervalos de 50 años antes de 1800, 1850 y posterior a 1900. Estos cambios en los volúmenes de flujo, pueden ser consecuencia de un incremento en el uso del agua con fines agropecuarios o también producto de cambios importantes en el patrón de lluvias, con la ocurrencia de eventos hidrológicos extremos más frecuentes y cambios de uso del suelo que fomentan mayores escurrimientos pero menor flujo base (Stahle *et al.*, 2009); no obstante, debido a la ausencia de registros hidrométricos más extensos limita comprobar tal aseveración.

Análisis de los periodos secos y húmedos

La reconstrucción de la precipitación para el centro-sur de Guanajuato indica que los periodos secos ocurrieron en: 1778-1789, 1798-1811, 1817-1839, 1862-1905, 1944-1961, 1977-1985 y 1995-2002., mientras que para el noroeste tuvieron lugar en los periodos 1894-1903, 1950-1963 y 1985-2000. En estos periodos se presentaron eventos de sequía con efecto en el estado de Guanajuato y otras regiones del país (Villanueva *et al.*, 2007b; Cerano *et al.*, 2009). La reconstrucción cronológica coincide con otras realizadas para el centro y norte de México (Cuadro 3.2).

Los eventos de baja frecuencia (periodos húmedos y secos) observados en la reconstrucción de la precipitación para el estado de Guanajuato no mostraron sincronía con los reportados en otras reconstrucciones para el norte y noreste de México, resultado esperado, ya que la sincronía entre reconstrucciones dentro del estado para las regiones centro-sur y noroeste fue escasa. Al comparar la precipitación reconstruida para Guanajuato (centro-sur Gto.) con las del norte (NW_Pacífico, Bisa_Chih) y noroeste (PNev_NL, Saltillo_Coah.), no se observó un patrón similar de comportamiento, excepto para algunos periodos secos o eventos cortos húmedos como los acontecidos en 1792, 1814, 1834, 1912 y 1965 (Figura 3.12).

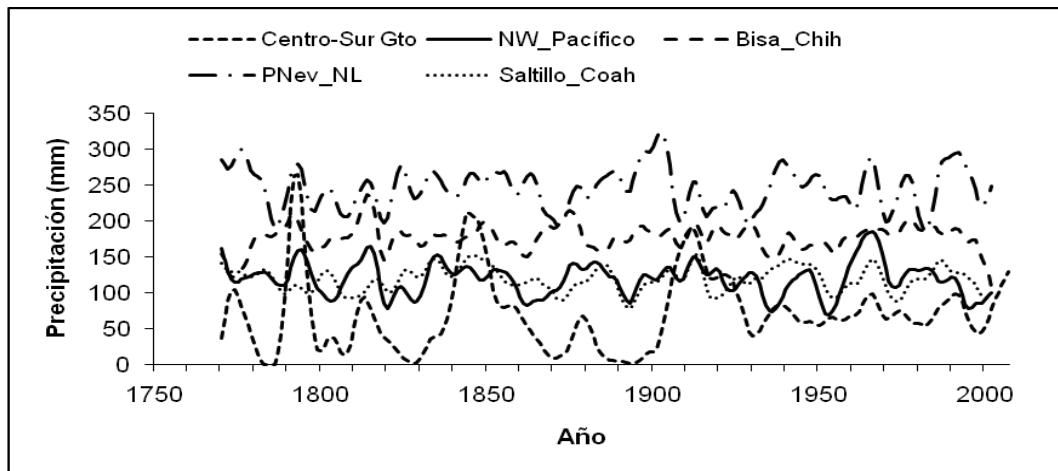


Figura 3.12. Tendencias de la precipitación invierno-primavera reconstruidas para algunas regiones de México: centro-sur Gto., NW Pacífico, Bisa_Chih, PNev_NL y Saltillo_Coah.

De acuerdo con la información documental, en el período 1788-1811, en el estado de Guanajuato ocurrieron cinco subperíodos secos en los años 1780, 1784-1786, 1793, 1803 y 1809 (Endfield *et al.*, 2004), aunque se reportan eventos aislados de sequía para los años de 1877, 1880, 1894, 1895, 1896, 1902 y 1905 (Contreras, 2005). A escala nacional sólo se presentó un periodo de sequía de 1808 a 1811, que causó pérdida de cosecha, con repercusiones económicas significativas (Florescano, 1980; García, 1993), así como hambrunas, carestía e incremento de precio en los alimentos básicos (Contreras, 2005). La falta de alimento, aunada a la escasa disponibilidad de agua para aseo personal, se asoció a la epidemia de tifus que afectó el Valle de México entre 1785 y 1786 (Acuna *et al.*, 2002).

Cuadro 3.2. Períodos secos y húmedos reconstruidos y documentados y su impacto social y económico para la región centro-sur del estado de Guanajuato.

Anomalía	Reconstruido	Documentado	Efecto social y económico	Fuente
Déficit de precipitación (sequía)	1778-1789	1778, 1780, 1784-1786	Pérdida de cultivos, escasez de grano, hambruna "Año del Hambre"	Florescano, 1980; García, 1993; Acuna <i>et al.</i> , 2002; Endfield <i>et al.</i> , 2004
	1798-1811	1793, 1803, 1809	Siniestro de cultivos, precios elevados de granos	Contreras, 2005; Endfield <i>et al.</i> , 2004
	1817-1839	1826-1828, 1830, 1836	Pérdida de cultivos, escasez de grano	García, 1993
	1862-1905	1862-1864, 1866-1870, 1872-1873, 1878-1879, 1889-1900	Pérdida de cultivos, escasez de grano; muerte de ganado	García, 1993; Escobar, 1997; Contreras, 2005
	1944-1961	1946	Pérdida de cultivos, escasez de grano; muerte de ganado	Florescano, 1980; García, 1993
	1977-1985	1977, 1982	Problemas de abastecimiento de agua; siniestro de 88% de superficie cultivada en temporal en El Niño de 1982	Conde <i>et al.</i> , 1999
	1995-2002	1997, 1998, 2000, 2002	Siniestro cultivos temporal, incendios forestales, muerte de ganado	
	1772	1772	Inundación	Endfield <i>et al.</i> , 2004
	1788-1797	1788, 1791	Inundaciones, destrucción de infraestructura	Endfield <i>et al.</i> , 2004
	1839-1860	Sin información	Sin información	Sin información
Exceso de precipitación	1906-1927	1908, 1912, 1926	Desbordamiento de ríos, inundación; destrucción de infraestructura	Florescano, 1980; García, 1993
	1963-1970	Sin información	Sin información	Sin información
	1987-1994	1991	Inundaciones	INEGI, 2008
	2003-2007	2003, 2006, 2007	Desbordamiento de ríos, inundaciones, pérdida de viviendas, destrucción de infraestructura	INAFED, 2005

En el período 1862-1905 se reportó la muerte masiva de ganado en Sinaloa. La sequía de la década de 1870 originó carestía de grano para la misma región (Escobar, 1997). Para el centro-norte de México, las sequías de 1882-1883, 1889-1890 y 1891-1895 provocaron migración y afectaron drásticamente la ganadería (Escobar, 1997; García, 1993; Contreras, 2005).

Las condiciones de precipitación y de flujo superiores al promedio regional reconstruidos, se presentaron en los periodos de 1789-1797, 1839-1860, 1906-1927, 1963-1970, 1987-1995 y 2003-2007. Antes de 1950 se reconstruyeron tres de los periodos más húmedos, entre los que destacan 1789-1797, 1840-1860 y 1905-1927. Posterior a 1950 se reconstruyeron tres nuevos eventos con precipitación superior a la media regional, aunque a diferencia de los anteriores a 1950, el año más húmedo alcanzó precipitación ligeramente superior a la media.

En el estado de Guanajuato se cuenta con registros documentados de inundaciones desde el siglo XVII a la fecha. En el período de 1770 a 2003 se registraron 55 inundaciones severas en 19 municipios del estado, entre las que destacan las ocurridas en los años 1770, 1772, 1780, 1788, 1803, 1883, 1887, 1888, 1890, 1967, 1971, 1973, 1998 y 2003. No obstante, sólo los años de 1967 y 2003 quedan comprendidos dentro de los períodos húmedos reconstruidos en el centro-sur de Guanajuato; mientras que para el noroeste se tienen los años de 1883, 1887, 1888, 1890, 1967, 1971, 1973, 1996 y 2003. Las consecuencias de estas inundaciones, provocadas por lluvias extraordinarias, fue el desbordamiento de ríos que causó muerte y desaparición de personas, pérdida de viviendas, inundación de caminos y terrenos situados aguas abajo; sin embargo, no todas fueron provocadas por la intensidad de las lluvias, sino por causas antropogénicas (Escobar, 1997; Endfield *et al.*, 2004; Contreras, 2005). Aunque no todas las inundaciones se reflejan en mayor crecimiento de los anillos de los árboles, las reconstrucciones analizadas, particularmente las derivadas de la cronología regional Manuel Doblado-Jerécuaro y la de Ibarra, Ocampo, Guanajuato coinciden en cierto grado con documentos históricos, lo cual constituye una verificación a las cronologías reconstruidas.

Impacto de el Niño-Oscilación del Sur

El fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) es uno de los patrones atmosféricos circulatorios de mayor impacto a nivel mundial y es el que determina en gran medida la variabilidad hidroclimática en el norte y centro de México (Stahle *et al.*, 1998; Magaña *et al.*, 1999; Conde *et al.*, 1999; Díaz *et al.*, 2002). Para analizar el grado de influencia de este fenómeno en las condiciones climáticas del estado de Guanajuato, se compararon las series de tiempo dendrocronológicas con los índices ENSO y particularmente con el Índice de Lluvia Tropical (TRI, por sus siglas en inglés), el cual constituye un estimativo de dicho fenómeno (Wright, 1979).

Al comparar la cronología regional Manuel Doblado-Jerécuaro (estimativo de las condiciones climáticas de la región centro-sur de Guanajuato), contra los índices del TRI del período estacional octubre-abril; el análisis de Ondeleta determinó que este fenómeno ha impactado significativamente esta región en frecuencias de 4 a 8 años para los períodos 1905-1922 y 1942-1965. El efecto observado se manifiesta con un incremento en la precipitación invernal; sin embargo, para otros períodos con alta precipitación la influencia de este fenómeno no fue significativa, lo cual indica que otros fenómenos atmosféricos pudieran dominar y tener mayor influencia en definir las condiciones climáticas prevalecientes (Figura 3.13). En dicha figura, las áreas más oscuras delimitadas por una línea en contorno de color negro, indican que existe una relación altamente significativa entre

ambos fenómenos. Las flechas en diferente orientación determinan si la relación es positiva o negativa; así las flechas horizontales o paralelas apuntando hacia la derecha muestran que ambos fenómenos están en fase (relación positiva); caso contrario ocurre, cuando las flechas apuntan hacia la izquierda, en cuya situación, indica que ambos fenómenos están en antifase (relación negativa). Las flechas verticales indican que los fenómenos no están en fase y se desconoce si la relación es positiva o negativa. Los límites de confianza están representados por un semióvalo, delimitado por una línea oscura delgada que une tanto los ejes superior e inferior.

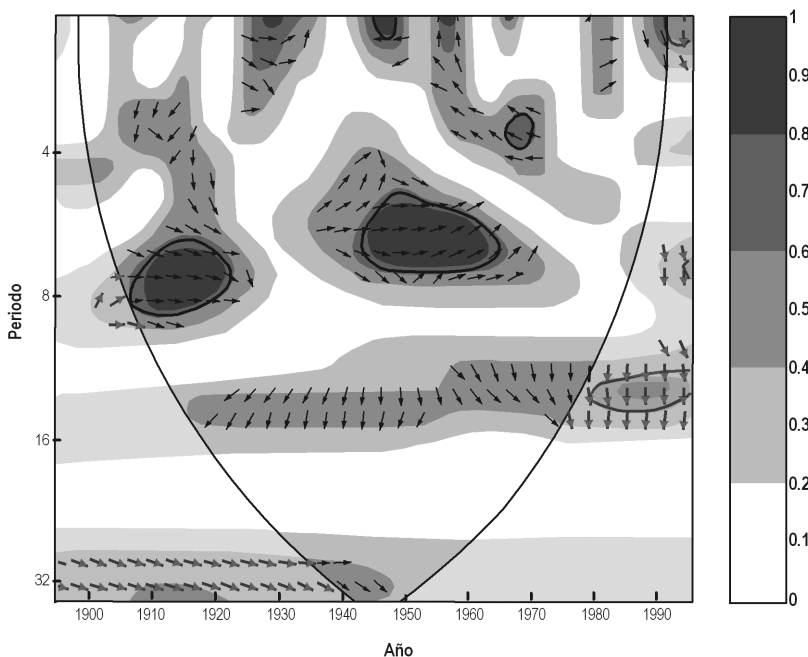


Figura 3.13. Análisis de Ondeleta entre la serie de tiempo regional de ahuehuate para los sitios Manuel Doblado y Jerécuaro en la región centro-sur de Guanajuato y los índices de lluvia tropical (TRI). Se observa una relación significativa ($p < 0.05$) entre la cronología regional y los índices TRI sólo para los periodos 1905-1922 y 1942-1965.

Al comparar los valores de los índices de la cronología regional de ahuehuate y de piñonero con eventos de precipitación durante la fase fría y cálida de ENSO, no se observó una influencia definida de este fenómeno en los valores de las cronologías; por ejemplo, para la cronología de ahuehuate cuando se compara contra el periodo 1869-2007, en el cual se presentaron 37 eventos de la fase fría de ENSO, en 15 de ellos (40.5%) se observaron crecimientos superiores a la media (> 1.0), mientras que para los 22 restantes (59.5%) el crecimiento fue inferior (< 1.0). Así mismo, durante el periodo 1868-2006 se presentaron 30 eventos cálidos de ENSO, aunque sólo 9 (30%) produjeron crecimiento superior a la media (> 1.0) y 21 de ellos (70%), crecimiento inferior (< 1.0). Un comportamiento en crecimiento sin mucha relación al efecto del Niño, también se observó para las cronologías de pino piñonero (Cuadro 3.3).

Se puede derivar información similar de los registros de superficie siniestrada en agricultura de temporal en Guanajuato y la influencia de las fases de ENSO (Niño o Niña) para el período 1980-2005. De esta manera en ciertos años “Niño” como los de 1982, 1987, 1992 y 2005, la superficie siniestrada de cultivos de temporal alcanzó hasta cerca del 50%, pero durante años “Niña” como 1989, 1996, 1999 y 2000, la superficie siniestrada fue igual o superior a la ocurrida en años Niño, e incluso en algunos años clasificados “Normales” como 1980, 1981 y 1982 también mostraron alto porcentaje de siniestro (Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Gto. 2006).

Con esta información se puede argumentar que el impacto del fenómeno ENSO en esta región de Guanajuato no está bien definido y que el crecimiento de los árboles de *T. mucronatum* y de *Pinus cembroides* está influenciado por este fenómeno sólo cuando ha sido muy intenso. Otros fenómenos atmosféricos como tormentas tropicales o ciclones e inclusive el Monzón de Norteamérica (NAMS, siglas en inglés), pudieran tener un mayor impacto en la precipitación de esta región (Higgins *et al.*, 1999; Therrell *et al.*, 2002). No obstante, una comparación entre la precipitación normalizada del área de mayor impacto del Monzón y las cronologías estandarizadas para Guanajuato en el período 1950-2001, no mostró relación significativa para las cronologías efectuadas en la localidad de Ibarra ($r = 0.14$, $p > 0.05$) y Las Palomas ($r = 0.23$, $p > 0.05$), aunque sí para la de Manuel Doblado-Jerécuaro ($r = 0.285$, $p < 0.05$, $n = 121$). Para esta misma cronología, la correlación se incrementó al comparar sólo el período 1950-1975 ($r = 0.50$, $p < 0.001$).

Cuadro 3.3. Índices de crecimiento (IAA) de la cronología regional de *T. mucronatum* para Manuel Doblado (centro-sur de Gto.) y las cronologías de *P. cembroides* para los sitios Ibarra y Las Palomas en las fases fría y cálida de ENSO.

IAA, fase fría				IAA, fase cálida			
Año	M. Doblado	Ibarra	Las Palomas	Año	M. Doblado	Ibarra	Las Palomas
1906	1.0584	1.376	1.294	1905	1.2804	1.790	1.399
1908	1.5023	1.223	1.292	1911	1.3305	0.727	1.070
1909	1.1461	0.947	1.098	1913	1.5455	0.856	1.004
1910	1.5076	1.317	0.983	1918	1.2104	0.849	0.831
1916	1.0601	1.469	0.928	1940	1.0585	0.831	1.406
1922	1.2060	0.856	0.869	1963	1.0402	0.503	1.065
1924	1.1175	0.642	0.801	1965	1.1009	0.721	1.848
1938	1.1216	0.525	1.064	2002	1.0068	1.717	1.366
1954	1.0660	0.532	0.814	2006	1.2517	1.655	2.073
1956	1.0444	0.992	0.327				
1964	1.0026	0.460	1.136				
1967	1.1110	1.270	1.742				
1974	1.0774	0.762	0.668				
1975	1.0079	1.120	0.935				
2007	1.1726	1.655	2.073				

La serie dendrocronológica del sitio Ibarra ubicado en el municipio de Ocampo, Guanajuato, mostró influencia significativa de los índices ENSO en el invierno (enero-marzo) en frecuencias de 1 a 2 años en el periodo 1957 a 1962, de dos a tres años en 1981-1990 y un año en 1997-2003 (Figura 3.14). En el resto de los años estudiados no se observó relación, lo que indica la inconsistencia del efecto de este fenómeno en la región. En el sitio Las Palomas se observó que la cronología estuvo influenciada significativamente durante el período estacional octubre-enero por el índice ENSO (TRI), en frecuencias de 25 a 30 años para el período de 1930 a 1965. Un período casi similar fue observado para la cronología regional de ahuehuate en el centro-sur de Guanajuato (Figura 3.15).

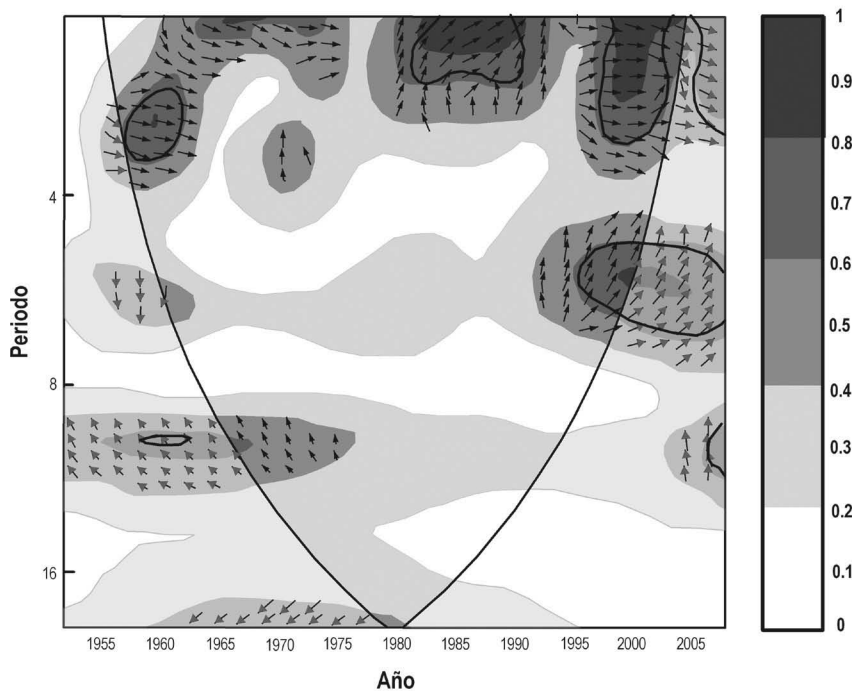


Figura 3.14. Análisis de Ondeleta que muestra la relación entre el Índice de Oscilación del Sur, en el período estacional enero-marzo e índices de anillo total de *Pinus cembroides* del sitio Ibarra, Guanajuato.

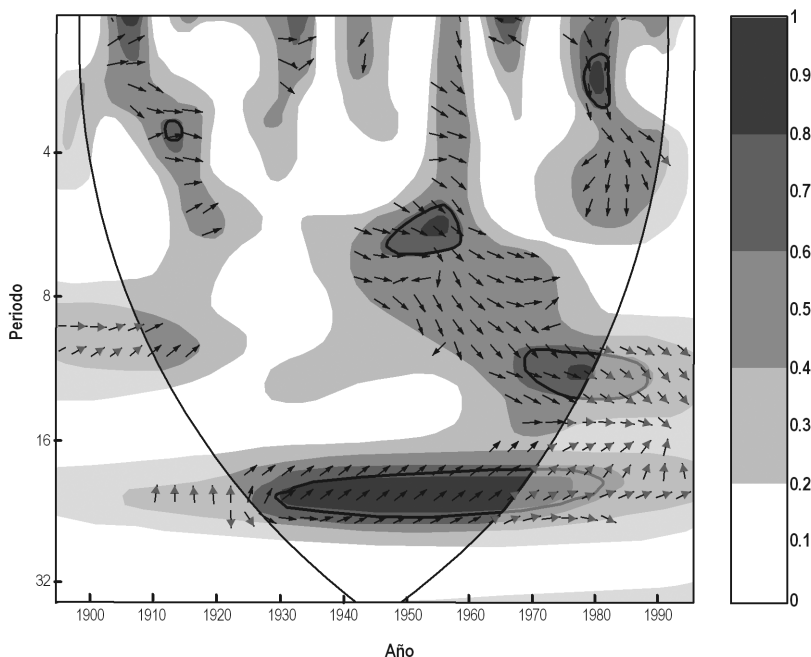


Figura 3.15. Análisis de Ondeleta que muestra la relación entre el Índice de Oscilación del Sur, periodo estacional octubre-enero e índices de anillo total de *Pinus cembroides* del sitio Las Palomas. Se observó correlación significativa ($p < 0.05$) en frecuencias de 20 a 25 años para el periodo 1930 a 1965. Para el resto del periodo no se detectó relación.

COMENTARIOS FINALES

El conocimiento histórico de la variabilidad del clima es un elemento esencial para entender las condiciones actuales del mismo y las tendencias venideras. Con esta premisa, en el presente estudio se generaron series de tiempo dendrocronológicas con extensión cercana a 250 años para Guanajuato. Se utilizaron dos especies para este propósito, *Taxodium mucronatum* y *Pinus cembroides*. Las cronologías de *T. mucronatum* mostraron una respuesta climática similar y se integraron en una cronología regional para el centro-sur de Guanajuato. En contraste, las cronologías de *P. cembroides* ubicadas en el norte del estado no correlacionaron significativamente, por lo que se utilizaron de manera independiente para reconstrucciones de precipitación individuales.

La reconstrucción estacional de la precipitación invierno-primavera (enero-mayo) del periodo 1700 - 2007 se desarrolló para la región centro-sur de Guanajuato; mientras que para el noroeste del estado se generaron dos reconstrucciones marzo-septiembre y anual (enero-diciembre) con las cronologías de los sitios Ibarra y La Paloma, con extensión de 208 años (1790-2007) y 158 años (1850-2007), respectivamente. Las reconstrucciones mostraron alta variación interanual (alta frecuencia), pero no se encontró un patrón de comportamiento de eventos de baja frecuencia, ya que la respuesta al fenómeno del Niño fue muy inconsistente.

Las reconstrucciones coincidieron en gran medida con eventos históricos documentados relacionados con sequías e inundaciones en el estado de Guanajuato y otros estados de la República Mexicana. La reconstrucción del flujo estacional julio-diciembre, en un lapso de 238 años (1770 a 2007) para la cuenca Río Lerma, corriente Río Turbio, Manuel Doblado, Guanajuato, mostró también la presencia de períodos secos y húmedos relacionados, en algunos años, con eventos intensos de patrones atmosféricos circulatorios.

Un análisis minucioso del efecto histórico de El Niño sobre la precipitación y la producción de cultivos de temporal, mostró alta inconsistencia en su impacto y sólo aquellos eventos de alta intensidad de ENSO tuvieron influencia en la precipitación, superficie siniestrada e índices de crecimiento de las especies utilizadas en la dendrocronología. Este comportamiento es indicativo de que para profundizar en el conocimiento de la evolución de este fenómeno en la región de estudio es necesario determinar las variaciones en temperatura, presión atmosférica, dirección e intensidad de los vientos y humedad relativa que analizados en conjunto con la información meteorológica procedente del Pacífico tropical coadyuve en determinar la influencia de ENSO en Guanajuato y su potencial de predicción.

El fenómeno Monzón de Norteamérica que explica una alta proporción de la precipitación de verano en el país, no mostró influencia marcada en la variabilidad de las cronologías observadas en el estado de Guanajuato, excepto para la de Manuel Doblado-Jerécuaro, que se ubica en la parte suroccidental del estado. Este resultado pudiera ser útil para fundamentar trabajos de investigación de este tipo en sitios cercanos al litoral del Pacífico, donde la influencia del Monzón pudiera ser mayor.

La información generada, contribuye en el conocimiento cuantitativo de la variabilidad histórica del clima en el estado de Guanajuato en los últimos 250 años, en función del efecto de los patrones atmosféricos circulatorios. Este conocimiento constituye el inicio de construcción de una red de cronologías de anillos de árboles en el estado de Guanajuato, que en el futuro permita desarrollar modelos de predicción de los eventos meteorológicos extremos y su relación con el manejo sustentable de los recursos naturales.

LITERATURA CITADA

- Acuna S., R., D. W. Stahle, M. K. Cleaveland, and M. D. Therrell. 2002. Megadrought and megadeath in 16th century Mexico. *Emerging Infectious Diseases*. 8 (4): 360-362.
- Bradley, R. S. 1999. *Paleoclimate: reconstructing climates of the quaternary*. Second edition. Elsevier Academic Press. Amsterdam. 614 p.
- Brito, C. L., C. S. Diaz, C. A. Salinas Z. and A. V. Douglas. 2003. Reconstruction of long-term winter streamflow in the Gulf of California continental watershed. *J. of Hydrol.* 278: 39-50.
- Cerano P., J., J. Villanueva D., J. G. Arreola A., I. Sánchez C., R. D. Valdez C. y G. García H. 2009. Reconstrucción de 350 años de precipitación para el suroeste de Chihuahua, México. *Madera y Bosques*. 15 (2):27-44.
- Conde C., R. M. Ferrer, R. Araujo, C. Gay, V. Magaña, J. L. Pérez, T. Morales, S. Orozco. 1999. El Niño y la Agricultura, en: V. Magaña (ed.). *Los impactos de El Niño en México*. SEP-CONACYT. México. pp. 103-135.

- Contreras S., C. 2005. Las sequías en México durante el siglo XIX. *Investigaciones Geográficas*, 56: 118-133.
- Cook, E. R. 1987. The decomposition of tree-ring series for environmental studies. *Tree-Ring Bulletin* 47: 37-59.
- Cook, E. R. and K. Peters. 1981. The smoothing spline: a new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies: *Tree-Ring Bulletin*. 41: 45-53.
- Díaz C, S., M. D. Therrell, D. W. Stahle, and M. K. Cleaveland. 2002. Chihuahua winterspring precipitation reconstructed from tree-rings, 1647-1992. *Clim. Research*. 22: 237-244.
- Endfield, G. H., T. I. Fernández, and S. L. O'hara. 2004. Conflict and cooperation: water, floods and social response in colonial Guanajuato, Mexico. *Environ. History*. 9: 222-247.
- Escobar O, A. 1997. Las sequías y su impacto en las sociedades del México Decimonónico, 1856-1900. *Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Historia y Desastres en América Latina. Volumen II*.
- Florescano, E. M. 1980. Análisis histórico de las sequías en México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México. D. F. 158 p.
- Fritts, H. C. 1976. *Tree rings and climate*. Academic Press Inc (London), Ltd. 565 p.
- García A., V. 1993. Las sequías históricas en México. *Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Desastres y Sociedad. Núm. 1. Año 1*. 19 p.
- García, H. A. 1997. Alternativa ante las sequías de 1789-1810 en la villa de Saltillo, Coahuila, México. En: García Acosta V. (Coord.). *Historia y desastres en América Latina. Vol. II. Red de Estudios Sociales en América Latina*. pp. 148-169.
- Higgins, R. W., Y. Chen y A. V. Douglas. 1999. Interannual variability of the North American warm season precipitation regime. *Journal Climate*. 12:653-680.
- Holmes, R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree Ring Bulletin*. 43: 69-78.
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED). 2005. Estado de Guanajuato. *Enciclopedia de los Municipios de México. Instituto Nacional para el Fideicomiso y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Guanajuato*.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 2003. Diagnostico bio-físico y socio-económico de la cuenca Lerma-Chapala. Resumen ejecutivo. INE. Dirección de Manejo Integral de Cuencas Hidrológicas. México, D. F. 32 p.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1998. Estudio Hidrológico del Estado de Guanajuato. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Gobierno del Estado de Guanajuato. 151 p.
- Magaña, V., J. L. Pérez, J. L. Vázquez, E. Carrizosa, y J. Pérez. 1999. El Niño y el clima. En: Magaña, V. (Editor). *Los impactos del Niño en México*. SEP-CONACYT. México. pp. 23-68.

- Stahle, D. W., R. D. Dárrigo, P. J. Krusic, M. K. Cleaveland, E. R. Cook, R. J. Allan, J. E. Cole, R. B. Dunbar, M. D. Therrell, D. A. Guy, M. D. Moore, M. A. Stokes, B. T. Burns, J. Villanueva D. and J. L. Thompson. 1998. Experimental dendroclimatic reconstruction of the Southern Oscillation. *Bulletin of the Am. Meteorological Soc.* 70(10): 2137-2152.
- Stahle, D. W., J. Villanueva, M. K. Cleaveland, M. D. Therrell, G. J. Paull, B. T. Burns, W. Salinas, H. Suzan, and P. Z. Fule. 2000. Recent tree-ring research in Mexico. En F. A. Roig (compilador). *Dendrocronología en América Latina*. EDIUNC. Mendoza, Argentina. pp. 285-306.
- Stahle, D. W., E. R. Cook, J. Villanueva D., F. K. Fye, D. J. Burnett, R. D. Griffin, R. Acuña S., R. Seager, R. R. Heim Jr. 2009. Early 21st-century drought in Mexico. *Eos* 90 (17): 89-90.
- Stokes, M. A. and T. L. Smiley. 1968. An introduction to tree-ring dating. The University of Chicago. 73 p.
- Therrell, M. D., D. W. Stahle, M. K. Cleaveland and J. Villanueva D. 2002. Warm season tree growth and precipitation over Mexico. *J. Geophys. Res.* 107 (D14):6-1 – 6-7.
- Villanueva D., J., B. H. Luckman, D. W. Stahle, M. D. Therrell, M. K. Cleaveland, J. Cerano P.; G. Gutierrez G., J. Estrada A., and R. Jasso I. 2005. Hydroclimatic variability of the upper Nazas basin: water management implications for the irrigated area of the Comarca Lagunera. *Dendrocronología* 22 (3): 215-223.
- Villanueva D., J., D. W. Stahle, B. H. Luckman, J. Cerano P., M. D. Therrell, Morán, R. M. and M. K. Cleaveland. 2007a. Potencial dendrocronológico de *Taxodium mucronatum* Ten. y acciones para su conservación en México. *Ciencia Forestal*. 32 (101): 9-37.
- Villanueva D., J., D. W. Stahle, B. H. Luckman, J. Cerano P., M. D. Therrell and M. K. Cleaveland. 2007b. Winter-spring precipitation reconstructions from tree rings for northeast Mexico. *Clim. Change*. 83: 117-131.
- Villanueva D., J.; Z. F. Peter, J. Cerano P., J. Estrada A., y I. Sánchez C. 2009. Reconstrucción de la precipitación estacional para el barlovento de la Sierra Madre Occidental. *Ciencia Forestal en México*. 34 (105): 37-69.
- Wright, P. B. 1979. Persistence of rainfall anomalies in the central Pacific. *Nature*. 277: 371-374.



José Luis González Barrios

Christopher J. Eastoe

Ignacio Sánchez Cohen

Luis M. Valenzuela Núñez

Juan Estrada Ávalos

CAPÍTULO IV

DATACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL VALLE DE LEÓN GUANAJUATO

INTRODUCCIÓN

El agua subterránea del valle de León, Guanajuato ha sido un pilar para el desarrollo de esta importante región económica donde los recursos hídricos son a veces escasos y poco seguros. La estimación de las reservas de agua subterránea es un tema recurrente y de mucho interés en diversos sectores de la población regional por el aumento constante de la demanda de agua de buena calidad para el consumo humano y para cubrir las necesidades de las actividades urbanas, agropecuarias e industriales. El interés sobre el tema se incrementa durante los periodos de escasez de agua provocados por sequías recurrentes y por la constante preocupación de los habitantes por asegurar el desarrollo económico de la región.

La estimación de las reservas de agua subterránea es complicada, particularmente en las regiones donde la estructura geológica de los acuíferos es compleja como es el caso del valle de León. La hidrología isotópica es una herramienta de gran ayuda que permite determinar la edad del agua o “datación” (del inglés date o fechado) y establecer el tiempo de residencia en el acuífero. De esta manera se pueden delimitar las áreas geográficas con aguas recientes renovables, antiguas y fósiles, lo cual constituye una base científica y sólida para estimar de manera precisa la disponibilidad de agua subterránea.

Actualmente, el cálculo de la disponibilidad del agua subterránea se determina según la norma oficial mexicana (NOM-011-CNA-2000) que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Esta norma, aunque es de fácil aplicación, en ocasiones induce errores que pueden ser importantes cuando se trata de determinar el volumen renovable a mediano y largo plazos que determinan el volumen máximo de extracción.

El objetivo de esta investigación fue determinar la edad de residencia o “datación” del agua subterránea en el valle de León, Guanajuato para identificar y ubicar geográficamente las aguas subterráneas renovables. La datación del agua subterránea se planteó como un tema importante para aportar información original y complementaria al estudio funcional de los acuíferos del valle de León en relación con sus principales áreas de recarga recientes o antiguas.

ANTECEDENTES

El acuífero del valle de León es uno de los más estudiados en el estado de Guanajuato. Los estudios se documentan desde 1964, cuando se publicó el decreto 181 que contiene la ley que crea la Junta Estatal de Agua Potable y Alcantarillado, con el objeto de valorar y administrar las aguas subterráneas para el abasto de las poblaciones regionales y de las actividades agrícola, pecuaria e industrial (SARH, 1982).

Al final de la década de 1960, el volumen de extracción anual de agua subterránea en el acuífero de León fue de 160 millones de m³, que se extraían con 835 pozos, una galería filtrante y algunos manantiales de los sedimentos de origen lacustre que subyacen a esta región, considerada como una unidad hidrogeológica continua entre las zonas de San Francisco del Rincón y Silao-Romita (CNA, 2002).

En 1982 se estimó que la extracción de agua subterránea fue de 205 millones de m³ por año y en 1995 se inició un estudio ambiental para proponer tecnología de manejo para mejorar los sistemas de riego agrícola y mantener la calidad del agua apta para consumo humano (CEASG, 1995). Este trabajo determinó que, en general, la calidad del agua subterránea era buena, con excepción del

área de riego con agua residual donde se produce una importante infiltración de agua contaminada; de igual forma se observaron altas concentraciones de nitratos en el agua de los pozos en la ciudad de León, debido muy probablemente a fugas en el sistema de alcantarillado.

En 1998 se realizó el “Estudio hidrogeológico y modelo matemático del acuífero del valle de León” en el que se actualizó el censo de aprovechamientos de agua subterránea georeferenciados (CEASG, 1998a; 1998b). Los resultados de este estudio mostraron 1,433 aprovechamientos de los cuales: 1156 activos; 201 inactivos; 59 secos; 14 tapados y 3 en perforación. De los pozos activos: 797 de uso agrícola; 245 de uso urbano; 100 de abrevadero; 12 para uso industrial; y 2 recreativos (INEGI, 1989; 1992). La profundidad de los aprovechamientos variaba entre 10 y 550 m y los niveles estáticos se situaban entre 5 y 185 m de profundidad. El volumen total de extracción de agua subterránea fue de 249 millones de m³ por año de los cuales: 157 millones (63%) fueron para uso agrícola; 78 millones (31%) para uso urbano; 11 millones (5%) para abrevadero; 1.4 millones (0.6%) para uso industrial y 0.286 millones (0.1%) para uso recreativo (CEASG, 1998b; INEGI, 1994). El balance global mostró que para 1998 existía un déficit de 68 millones de m³ por año.

Este estudio elaboró también un modelo geológico para definir la geometría espacial del subsuelo y ayudar con él a comprender mejor el comportamiento de las aguas subterráneas. El modelo propone que la sierra de Guanajuato y sus alrededores conforman un conjunto de rocas de diversa litología y edad que se agrupan en dos conjuntos lito-estratigráficos bien diferenciados y separados por un intrusivo granítico del Terciario. El conjunto lito-estratigráfico inferior al Mesozoico está formado por rocas cristalinas, volcánicas y sedimentarias marinas con intenso proceso de deformación de carácter compresivo e incipiente metamorfismo regional. El conjunto lito-estratigráfico superior al Cenozoico consiste en una secuencia sedimentaria clástica continental, una unidad volcanoclástica de composición félsica a intermedia, un conjunto de material sedimentario de origen lacustre, un evento de basaltos pliocuaternarios y depósitos de aluvión. Estratigráficamente entre las rocas mesozoicas y cenozoicas existe un intrusivo del Paleoceno de composición félsica y dimensiones batolíticas, emplazado en la misma dirección que la sierra de Guanajuato. El valle de León es una fosa tectónica que se formó durante el descenso relativo de varios bloques a lo largo de fallas normales, con los mayores descensos al sur de la presa San Germán y al oriente de San Roque de Montes.

Hidrológicamente se definieron ocho unidades hidro-estratigráficas que engloban a los diferentes elementos reconocidos. Se determinó que el agua subterránea se desplaza a través de tres medios físicos diferentes: granular, fracturado y granular-fracturado. El valle de León tiene un acuífero de tipo libre heterogéneo anisotrópico sin marcados contrastes de conductividad hidráulica entre unidades hidro-estratigráficas adyacentes. Esto quiere decir que existe una continuidad hidráulica regional.

Las mediciones piezométricas del estudio concluyeron que el valle de León es una zona de recarga y que desde hace varias décadas existe un cono de abatimiento regional que ha exacerbado más la zona de recarga al aumentar los gradientes hidráulicos que transitan de la montaña al valle. Las menores profundidades al nivel estático (10 a 60 m en 1998) se localizaban en la zona de riego con aguas residuales y al oriente del valle. En cambio, la zona con mayores profundidades al nivel estático (80 a 185 m en 1998) se localizaban en el centro del valle donde existe la más alta densidad de pozos. Las mayores evoluciones negativas se asocian directamente con las zonas de mayor extracción que se localizan en el centro del valle en lo que corresponde al cono de abatimiento

regional, con tasa de abatimiento de hasta 6 m por año. El abatimiento promedio regional es de 1.6 m por año.

La conceptualización del modelo hidrodinámico de las aguas subterráneas de 1998 señala que en general la dinámica del agua subterránea ocurre como en un sistema acuífero libre heterogéneo de continuidad hidráulica regional con una particularidad en la zona de “La Muralla” donde los materiales sedimentarios, específicamente margas y calizas funcionan como paquetes de baja permeabilidad que inciden en la dinámica del agua del subsuelo al retardar el flujo de recarga vertical descendente que proviene de las precipitaciones y retornos del riego. El sistema de flujo regional se recarga en las zonas topográficas más altas de la sierra de Guanajuato y Los Altos de Jalisco y sin perder conexión hidráulica subterránea alcanza el valle de León para transitar lateralmente hasta descargar en la porción más al sur del río Turbio y tal vez en el valle de Irapuato.

En 2000, el abastecimiento de agua para uso urbano de la ciudad de León con un millón de habitantes, provino de seis baterías de pozos denominados Oriente, Poniente, Sur, Río Turbio, Ciudad y la Muralla. En 2002 se realizó el estudio “Definición de red para la caracterización y monitoreo de calidad físico-química del agua subterránea en León, Guanajuato”. Este estudio tuvo como justificación el aumento de la demanda de agua y la intensa sobreexplotación del acuífero causada por el rápido crecimiento demográfico y económico de León (IMPLAN, 1997), además de la necesidad de contar con información actualizada sobre la cantidad y calidad del agua subterránea, tomando en cuenta que el uso prioritario del agua es el urbano y que el 95% de este uso se abastece de fuentes subterráneas. En vista de la importancia del abastecimiento del agua, la protección de acuíferos para prevenir el deterioro de la calidad del agua subterránea debe recibir una atención adecuada particularmente dentro y alrededor de grandes áreas urbanas y en las zonas donde se concentran industrias que generan una contaminación importante. Este estudio ayudó a conformar una red de pozos de monitoreo que permiten conocer la calidad del agua subterránea e identificar su evolución en la zona de León, además de definir el programa bajo la cual opera dicha red. El polígono de estudio fue reducido en relación al del estudio geo-hidrológico de 1998 y se enfocó a la zona urbana y peri-urbana de León (CEAG, 2002a).

En 2001 y 2002 se estudió la vulnerabilidad del acuífero de León por medio de dos metodologías: AVI y DRASTIC; se realizaron monitoreos y encuestas en 150 puntos críticos relacionados con industrias de varios giros, estaciones de servicio, granjas, canteras abandonadas y pozos inactivos, para ubicar posibles fuentes de contaminación del acuífero (CEAG, 2002b). Se determinó que existen áreas con diferente vulnerabilidad: media alta o extrema, en siete zonas de riesgo:

Zona R1. Localizada gradiente abajo del río de los Gómez en el corredor industrial León-San Francisco del Rincón, en la cercanía a las industrias curtidoras establecidas, lo que constituye una fuente lineal de contaminación. En esta zona se aplicaba el riego con aguas residuales en las comunidades de Santa Rosa y San Antonio del Monte; además, esta zona es afectada por la infiltración de las presas Mastranzo, Trinidad y San Germán, en las que se recolecta agua de origen pluvial, de los retornos de riego y de las descargas clandestinas (CEAG, 2002b). En esa zona existieron sitios con 20 – 30 m de profundidad del nivel freático, especialmente al sur de la presa Mastranzo. Aguas arriba de la zona R1 se localiza una falla geológica a lo largo de la carretera León - San Francisco del Rincón y un área de infiltración dispuesta a lo largo del arroyo La Joya donde descargan agua residual varias industrias.

Zona R2. Comprende los complejos industriales Santa Croché, San Crispín y la ciudad industrial-abastos donde se ubican la mayoría de las curtidurías y las grandes industrias químicas y metal-mecánicas. Esta zona es crítica debido a la presencia de fuentes de contaminación, la influencia de la presa Mastranzo y los cauces de los arroyos Hondo y La Joya situados en el noreste del área de estudio. En el sur del área urbana de la ciudad de León se concentran las descargas de agua conducidas por el canal de aguas negras y el río de los Gómez que cruzan la zona R2. Cabe destacar la existencia de un acuífero somero al norte de la presa Mastranzo. Esta zona tiene un índice de contaminación DRASTIC de 140 - 150 y está situada aguas abajo de la zona de infiltración localizada alrededor del arroyo La Joya y caracterizada con índice DRASTIC de 170. La falla geológica dispuesta a lo largo de la carretera León - San Francisco del Rincón puede contribuir a la transmisión de la contaminación de manera similar a la zona R1.

Zona R3. Es la zona con la mayor recarga proveniente de la sierra de Guanajuato y la más alta densidad de pozos para abasto urbano. En esta zona se ubican los fraccionamientos industriales Ciudad J. Obregón, las Brisas y Delta. Por la zona pasan los ríos Alfaro y Tinaja en los que vierten agua residual algunas de las industrias de la zona, aumentando la contaminación del acuífero inducida por la falla geológica dispuesta al noreste de la zona R3.

Zona R4. Comprende parte de las industrias establecidas en el corredor León-Silao y se extiende hasta la carretera a Comanjilla. Esta zona está limitada por el cauce del canal Santa Ana, incluye los afluentes que atraviesan los poblados de San Juan de Otates y La Laborcita, los cuales conducen agua que proviene de las áreas con erosión hídrica fuerte localizadas al noreste. En la zona se localiza la falla geológica que cruza la carretera León - Silao y está limitada por otra falla paralela a la primera y dispuesta a lo largo de la carretera a Comanjilla, con orientación noreste.

Zona R5. Delimitada por la falla dispuesta al noreste que divide los valles de León y Silao-Romita. Comprende todo el cauce de la prolongación del canal Santa Ana del Conde, hasta La Sardina. Dentro de esta zona, en los alrededores de la comunidad Rocío, existe otra zona de erosión hídrica fuerte, en la dirección del flujo hacia Playas de Sotelo. En esta zona no sólo la geología superficial es complicada sino también el flujo, formándose un cono de depresión alrededor de Playas de Sotelo y Loza de Barrera. Esta zona incluye los afluentes que pasan por Duarte y Comanjilla, los cuales atraviesan la zona de erosión hídrica fuerte localizada al noreste de dichos poblados. En las proximidades de Duarte, El Mezquite de Sotelo y Los Jacales, el nivel freático está poco profundo de 20 a 30 m; además, en esta zona se localizan varias industrias.

Zona R6. Esta zona comprende el resto del valle de León, está influenciada por dos zonas de erosión, fracturas geológicas y fuertes gradientes hidráulicos al este de San Cristóbal. En esta zona se presentan fuertes abatimientos con el cono de depresión localizado en la cercanía del pozo L1065 que se desplaza hacia el pozo L0277 durante la época de lluvias. El índice DRASTIC alcanza en esta zona valores de 170 unidades.

Zona R7. Corresponde a La Muralla donde las condiciones geológicas son diferentes a las anteriores. La zona se caracteriza por la presencia de varias fracturas geológicas que facilitan el flujo termal proveniente de los acuíferos más profundos.

La información geohidrológica de las zonas de riesgo se tomó en cuenta para la ubicación de nuevos pozos para el abasto urbano.

En 2002 se realizó el estudio “Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero valle de León, estado de Guanajuato” con el objetivo de determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea de acuerdo con la aplicación de la Norma Oficial Mexicana (NOM-011-CNA-2000). El estudio mostró la sobre extracción de 129 millones de m³ promedio por año; una recarga total media anual estimada en 156.3 millones de m³ y un volumen de extracción de agua subterránea concesionado de 285.2 millones de m³ (CNA, 2002).

En 2004 se clasificaron las aguas subterráneas del municipio de León por su vulnerabilidad a ser contaminadas y por la carga contaminante. El estudio determinó las zonas afectadas por contaminación natural o inducida, propuso un programa de operación para el aprovechamiento del acuífero y una red de monitoreo de 16 pozos para detectar alteraciones en la calidad del agua (Petkova, 2004). Se identifican además, las áreas contaminadas por elevado contenido de sólidos totales disueltos, cloruros, nitratos y sulfatos. La vulnerabilidad de la zona de penetración de raíces vegetales y la hidrodinámica del flujo subterráneo se relacionaron con la ubicación de las principales fuentes potenciales de contaminación. Lo anterior permitió delimitar las zonas con mayor riesgo de contaminación del agua subterránea, en las que se deben controlar las actividades.

Los estudios sobre el acuífero del valle de León realizados por el equipo de José A. Ramos y Alejandra Cortés (Ramos *et al.*, 2000; 2003; 2004; 2005; Johannesson *et al.*, 2006) aportaron nuevos conocimientos geológicos sobre la interpretación de los cortes litológicos que permitieron actualizar y modificar el modelo hidrogeológico conceptual del acuífero; particularmente, en la zona de La Muralla donde se observó mezcla de aguas subterráneas debida al proceso nombrado “secuencial binario” que genera condiciones anómalas donde se presentan flujos regionales con características termales que modifican la composición química del agua subterránea. El conocimiento geológico e hidrogeológico y la información hidrogeoquímica del agua de pozos permitieron determinar que en la región se pueden combinar tres tipos de agua (Comanjilla, Tultitlan y La Muralla) en una mezcla no simultánea, que inicia a través de fallas profundas y continúa posteriormente a través de aguas someras. La mezcla resultante se caracteriza por el contenido alto de Na-HCO₃ (Bicarbonato de sodio) y bajo de Li (Litio) y Cl (Cloro) que se extraen de los pozos someros de la zona de La Muralla y que abastecen parcialmente a la ciudad de León (Ramos *et al.*, 2007).

En el valle de León, no existen antecedentes sobre la edad (datación específica) del agua subterránea, por lo que este estudio es útil para complementar el diagnóstico del funcionamiento hidrogeológico del agua subterránea en relación con los áreas de recarga recientes o antiguas y proponer acciones preventivas y correctivas que coadyuven en el aprovechamiento sustentable de este recurso.

MARCO FÍSICO DEL ACUÍFERO DE LEÓN

El acuífero de León se ubica en la zona de contacto entre la *Sierra de Lobos* y la gran planicie con lomas suaves que constituyen el valle de León y se extiende hasta los valles del río Turbio y de Silao-Romita. La altitud del valle varía entre 1700 y los 2000 msnm con 2870 en la *Sierra de Lobos* (sierra de Guanajuato). El acuífero del valle de León (707 km²) colinda al norte con la sierra de Guanajuato; al sur con la región de La Muralla, al oriente con Silao-Romita y al poniente con el río Turbio y con el estado de Jalisco (INEGI, 1999a).

El valle de León está enmarcado por las provincias “Eje Neovolcánico” y “Mesa Central” del estado de Guanajuato. El Eje Neovolcánico se conforma de una masa de rocas volcánicas acumuladas en episodios sucesivos desde mediados del Terciario hasta el Reciente, y expuestas como sierras

volcánicas, coladas de lava, depósitos de arenas y cenizas dispersas en llanuras extensas. Un rasgo distintivo de esta provincia es la formación de cuencas cerradas ocupadas por lagos antiguos o recientes como en los llanos del “Bajío” de Guanajuato formados por el bloqueo del drenaje original debido a vulcanismo o a fallas geológicas. La Mesa Central está formada por amplias llanuras interrumpidas por sierras abruptas, generalmente de origen volcánico, que son favorables para que el agua de escurrimiento forme torrentes violentos y drenen densamente las vertientes. Gran parte del agua precipitada se integra al sistema de flujo del agua subterránea.

Clima

Semi-seco con lluvias en verano, precipitación media anual de 600 mm y temperatura media anual de 18 a 20 °C en la ciudad de León y sureste del valle. Templado sub-húmedo con lluvias de verano, precipitación media anual de 700 a 800 mm y temperatura media anual de 16 a 18 °C en la región de La Muralla. Semi-cálido con lluvias en verano: con precipitación anual de 700 a 800 mm y temperatura media anual de 18 a 20 °C en la porción centro y sur del valle de León. Los meses más calurosos son mayo y junio y los meses con más lluvia son julio y agosto. La evaporación potencial promedio en el valle de León es de 615.6 mm por año (CNA, 2002).

Hidrografía

El valle de León se ubica dentro de la Región Hidrológica No. 12 “Lerma-Chapala-Santiago”, corresponde a la cuenca Río Lerma-Salamanca y a las sub cuencas Río Turbio-Presa El Palote y Río Guanajuato-Silao (INEGI, 1991a; 1991b; 1981; 2005).

El principal cauce que drena el área es el río León que se ha convertido en el colector público de las aguas residuales de la ciudad de León, los principales afluentes son los arroyos Los Castillos y Hacienda de Arriba, que reciben afluentes de manera intermitente desde la *Sierra de Lobos*.

Otras escorrentías de los arroyos San Juan de Otates, La Noria, La Joya, Los Sauces, La Tinaja, Grande, Alfaro y El Salto, descienden de la sierra de Guanajuato hasta el valle, donde son interceptadas por canales de riego y parte del volumen se infiltra en el subsuelo.

La estructura hidráulica más importante es la presa El Palote, alimentada por el arroyo La Patiña que confluye con los arroyos Hacienda de Arriba, Rincón de los Caballos y Tigre, este último también provee de agua a la presa El Cojinillo.

Los escurrimientos superficiales de la ciudad de León los capta la presa El Mastranzo a través del bordo La Trinidad. Los arroyos La Joya y La Mora descargan sus aguas en la presa San Germán de donde se conducen a través del río Los Gómez para confluir con el río Turbio.

Geología

El valle de León pertenece a la provincia fisiográfica denominada “Eje Neovolcánico”, con excepción de una pequeña porción de la parte nororiental, que se encuentra enclavada en la provincia de La Mesa Central (INEGI, 1999c; INEGI, 2000).

El eje Neovolcánico ocupa la mitad sur del estado de Guanajuato y está constituido por rocas volcánicas depositadas en varios y sucesivos episodios tectónicos, desde mediados del Terciario hasta el Reciente, que formaron las sierras volcánicas, las coladas lávicas, los depósitos de arenas y las cenizas diseminadas en las llanuras; el fallamiento (formación de fallas geológicas) es la

característica que distingue a esta provincia. Gran parte de la zona de estudio se localiza en la subprovincia fisiográfica “Bajío Guanajuatense”, definida por ser una amplia llanura interrumpida por sierras volcánicas, mesetas lávicas y lomeríos.

En la provincia Mesa Central, sobresalen amplias llanuras, interrumpidas por sierras dispersas en su mayor parte de naturaleza volcánica. En ella se presenta la discontinuidad de los “valles Paralelos del Suroeste” de la sierra de Guanajuato, con patrones característicos en la topografía, morfología, distribución de suelos y vegetación.

Tres unidades Geomorfológicas están presentes en la zona de estudio: “Sierra de Guanajuato”, “Altos de Jalisco” y “El Bajío”. A la primera de ellas pertenece el área montañosa más sobresaliente de la región, siendo muy abrupta, con escurrimientos varios e infiltración restringida, con manantiales locales cerca de los contactos de las rocas Ignimbrita Cuatralba y Basalto Cubilete, ambas con muy baja permeabilidad.

La unidad Altos de Jalisco está representada por el conjunto de lomas y mesetas de mediana elevación, con relación a la unidad anterior, y se distribuye en toda la porción occidental del área y en las partes topográficamente altas; asimismo, agrupa a rocas volcánicas del Terciario pertenecientes a la Andesita Bernalejo, Ignimbrita Cuatralba, Basalto Dos Aguas y Basalto El Cubilete.

La unidad de El Bajío está constituida por depósitos de material medianamente consolidado (Terciario sedimentario diferenciado) y sin consolidar (aluvión), que afloran principalmente en las partes topográficas más bajas del valle. Estas unidades son producto de la actual acción de los factores exógenos niveladores del relieve. El drenaje es del tipo paralelo; su origen se debe, probablemente, al proceso erosivo-acumulativo que ejercen algunos factores externos a través del tiempo. El terreno es casi plano y drenaje poco significativo.

La geología del valle de León está constituida por rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias, de edades que van del Jurásico al Reciente. Las más antiguas están representadas por la Piroxenita San Juan de Otates, que consiste en un complejo ultramáfico, el cual aflora en la sierra de Guanajuato y a lo largo del arroyo San Juan de Otates, al noreste de la ciudad de León. Esta sobreyace a las rocas metavolcánicas del complejo volcanosedimentario sierra de Guanajuato, cubierta por productos volcánicos terciarios, que son de características sedimentarias marinas (en su mayoría calizas y lutitas con areniscas y en menor proporción fragmentos ígneos con caliza y pedernal) y volcánicas (lavas de composición basáltica, andesítica y dacítica), que en conjunto constituyen el basamento de la sierra de Guanajuato y que ocupan gran parte de las áreas topográficas altas. Las dioritas, granitos y tonalitas conforman el conjunto plutónico La Luz, que aflora al norte de la localidad de Duarte, todas ellas del Cretácico.

El Granito Comanja, es un cuerpo intrusivo, granítico, que aflora en gran parte de la sierra de Guanajuato y al nororiente del valle de León; presenta metamorfismo de contacto en sus límites con la roca encajonada. El Conglomerado Guanajuato es una secuencia clástica continental del distrito minero de Guanajuato, polimítico, bien consolidado en estratos gruesos, constituido por clastos de diverso origen y tamaño, empacados en una matriz arenosa, ocasionalmente con horizontes de areniscas, limolitas y lutitas. También de edad Terciaria, la Andesita Bernalejo (andesitas muy resistentes a la erosión, aunque con gran fracturamiento y alteración) se observa en el poblado Bernalejo al poniente de la ciudad de León.

Todo el material volcánico de origen piroclástico se le conoce como Ignimbrita Cuatralba, formadora de numerosas mesetas en la sierra de Guanajuato, que aflora en la porción noroeste del valle de León, correspondiente al flanco sur de esta sierra y se divide en dos miembros (inferior y superior). Los derrames lávicos esparcidos al noroeste de la ciudad de León, que contienen un solo afloramiento extenso y continuo de basaltos de olivino, constituyen el Basalto Dos Aguas que se le asigna una edad tentativa del Oligoceno por estar interdigitado con la Ignimbrita Cuatralba.

Al material sedimentario de ambiente continental y lacustre, representado por lomeríos redondeados en la parte media-sur del valle, con excepción del aluvión que rellena la depresión del bajo, se le conoce como Terciario Sedimentario Diferenciado, y está constituido por depósitos sedimentarios heterogéneos (gravas, arenas, limos y arcillas) de compactación variable con espesores que van de los 20 a los 100 metros.

En los alrededores de la población de Arperos y en la cercanía de la localidad Nuevo valle de Moreno, se observa una roca hipabisal denominada Gabro Arperos, de edad Cuaternaria. Basaltos y andesitas que constituyen la sierra de Guanajuato representan los últimos eventos volcánicos de la zona, conocidos como Basalto El Cubilete, que se encuentra en discordancia y concordancia angular. La unidad más joven de la región la forma el aluvión (gravas, arenas, limos, arcillas y suelo residual) depositado en pie de monte, planicie del valle, cima de algunas mesetas lávicas, sitios de inundación y cauces de los ríos y arroyos que atraviesan las sierras, mesetas y lomeríos hasta el valle de León.

En la zona sucedieron eventos compresivos (pliegues y cabalgaduras) y distensivos (fallas) que definieron los diversos estados de deformación de las rocas desde el Mesozoico hasta la actualidad. Ejemplos de estos eventos son: Esfuerzos compresivos, que afectaron a rocas cristalinas, volcánicas y sedimentarias marinas del Mesozoico (Complejo Volcanosedimentario sierra de Guanajuato y Piroxenita San Juan de Otates) y Esfuerzos distensivos que formaron los sistemas de fallas y fracturas que durante el Cenozoico determinaron la actual geometría del sistema de fosas y pilares tectónicos que son de gran importancia para la hidrodinámica del subsuelo.

Geología estructural

La geología estructural de la región está conformada por tres sistemas de fracturas y fallas normales con orientación preferente NO–SE, NE–SO y N–S (Ramos *et al.*, 2007). Las estructuras revelan procesos en la geodinámica continental producto de un régimen tectónico distensivo, activo durante distintas épocas del Cenozoico, incluido el Cuaternario (Nieto, 1992). Según Vasallo *et al.* (1996), estos procesos tectónicos han favorecido el vulcanismo, así como los potentes espesores de las rocas clásticas y lacustres que afloran en toda el área de estudio.

La Falla del Bajío separa dos provincias fisiográficas en la parte central de México (Aranda *et al.*, 2003; Alaniz y Nieto *et al.*, 2005). Al sur de la Falla del Bajío se distribuye la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) y al norte se encuentra la Mesa Central. Su desplazamiento vertical se estima entre 500 y 850m (Quintero L., 1989; Hernández, 1991; Nieto *et al.*, 2005). Esta estructura está formada por una serie de fallas normales escalonadas entre las que se encuentra la Falla Duarte (Figura 4.1). Al oriente del área de estudio se localiza el valle del Río Turbio que es delimitado por el sistema N-S.

En los alrededores de San Francisco del Rincón, el valle está limitado por el sistema de fallas NO-SE. Estos sistemas han sido interpretados a partir de estudios geofísicos como sondeos eléctricos verticales (SARH, 1991; CEASG, 1995) y sondeos electromagnéticos (CEASG, 1998a; 1998b).

Algunos pozos localizados en las proximidades de las fallas que delimitan los valles del Río Turbio, León y Los Gómez presentan temperaturas de 30 a 32°C y 94°C en el caso del manantial Comanjilla (SAPAL, 2001), lo que evidencia la permeabilidad a lo largo de estas fallas (Ramos *et al.*, 2007).

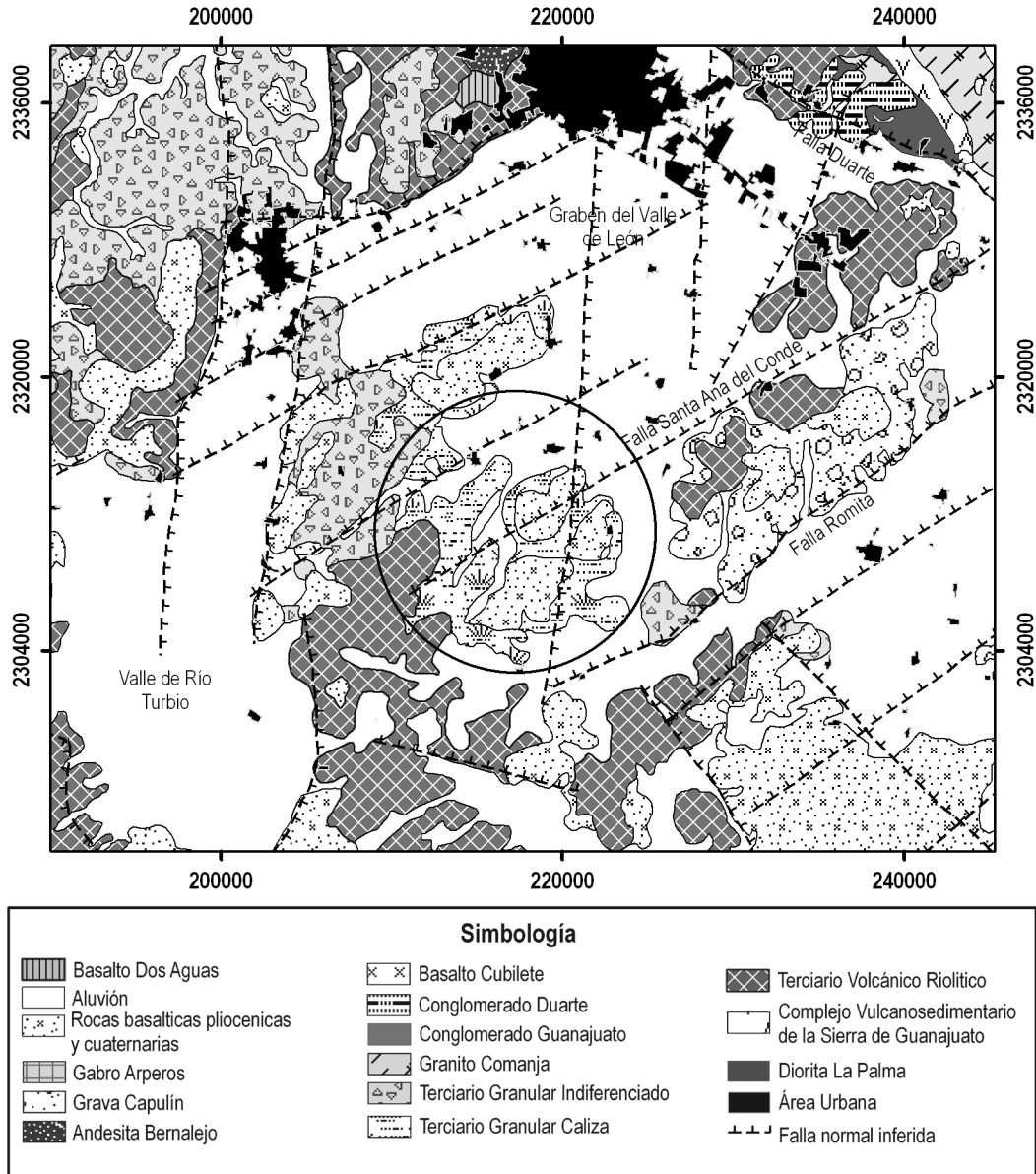


Figura 4.1. Geología regional del área de estudio. Tomado de Ramos *et al.* (2007).

Hidrogeología

De acuerdo a Ramos *et al.* (2007), la región ha estado expuesta a numerosos procesos tectónicos y volcánicos que juegan un papel muy importante en la hidrodinámica de los acuíferos. Evidencias de alta permeabilidad secundaria en las unidades litoestratigráficas, generada por los procesos tectónicos, pueden relacionarse con la presencia de manantiales alineados a lo largo de ellas, algunos de ellos con características termales, como el manantial Comanjilla.

El acuífero en explotación se localiza en los valles de León, río Turbio y Silao–Romita, donde operan numerosos pozos agrícolas profundos (CEASG, 1998a y 1998b), se desarrolla en un medio granular de gran espesor constituido por depósitos vulcanosedimentarios que rellenaron las fosas tectónicas (INEGI, 1981; INEGI, 2003). Por su parte, el acuífero fracturado constituido por la Ignimbrita Cuatralba sólo se aprovecha en la zona de La Muralla y en las márgenes de los valles mencionados (SAPAL, 2001).

Basados en los estudios disponibles de la geología regional (Martínez, 1992) se ha inferido la presencia de una unidad más permeable bajo el Conglomerado Guanajuato, que pertenece al Complejo Vulcanosedimentario de la sierra de Guanajuato. Las perforaciones para suministro de agua en el área de estudio no han atravesado esa unidad.

A partir de ese nuevo conocimiento geológico, la reinterpretación de los cortes litológicos y la piezometría disponible para la zona de estudio (Ramos *et al.*, 2007) actualizaron y modificaron el modelo conceptual sobre el funcionamiento hidrodinámico presentado por CEASG (1999). El modelo actualizado se esquematiza en la Figura 4.2. La sección hidrogeológica se inicia en la sierra de Guanajuato, pasa por La Muralla y termina en la sierra de Pénjamo. En la Figura 4.3 se muestra la zona de La Muralla con mayor detalle. Mediante el análisis de este modelo conceptual actualizado es posible establecer las características medulares del flujo regional en estudio.

La dirección horizontal de flujo subterráneo regional tiene una tendencia general N–S, presentando cambios de dirección locales debido a la presencia de los grandes conos de abatimiento, productos éstos de la intensa explotación acuífera en los valles de León y Silao–Romita (Figura 4.4). En la zona de La Muralla se observa un notable domo piezométrico con un radio aproximado de 5 km² que se considera relacionado con el aporte de flujos a través de las fallas profundas, CEASG (1999) (Figuras 4.3 y 4.4).

De acuerdo con Ramos *et al.* (2007), el flujo intermedio circula a través de la Ignimbrita Cuatralba y los sedimentos terciarios. Este flujo presenta dos zonas principales de recarga: la sierra de Guanajuato, donde aflora la mencionada ignimbrita, y hacia el valle de León, donde ésta se localiza a profundidades de 500 m (CEASG, 1999). En la zona de La Muralla (Figura 4.2), esta unidad acuífera fracturada se encuentra cercana a la superficie, mientras que en la sierra de Pénjamo está expuesta en superficie (Figura 4.1).

La descarga natural del sistema ocurre en la parte topográficamente más baja de la zona, en el área de Las Adjuntas. En efecto, hacia la margen derecha del Río Turbio existen manantiales activos (INEGI, 1980) así como un pozo que se mantuvo artesiano hasta la década de 1960 (Hernández, 1991). En profundidad, los flujos intermedios convergen.

Respecto a la recarga del sistema hidrogeológico, se han identificado tres zonas importantes (CEASG, 1999), una local, en la zona de La Muralla, otra al sur en la sierra de Pénjamo y la última al NO de la sierra de Guanajuato (Figura 4.2). En las cercanías de La Muralla se localizan lomeríos y pequeñas

sierras formadas por derrames basálticos muy fracturados que funcionan como transmisores de la infiltración (Figura 4.3). El acuífero presenta variaciones temporales en la dinámica y química de su agua durante la época de lluvia y secas (Ramos *et al.* 2003; 2005).

La zona de recarga en la parte sur (sierra de Pénjamo) se caracteriza por tener elevaciones de hasta 2,400 msnm. Está constituida principalmente por rocas volcánicas fracturadas de composición riolítica, brechas volcánicas y basaltos. La zona de recarga norte (NO de la sierra de Guanajuato) con elevaciones de hasta 2,800 msnm, presenta en su parte central una gran distribución de rocas plutónicas y metamórficas de baja conductividad hidráulica, restringiendo la recarga a la periferia de la sierra. Hacia el NO de la sierra de Guanajuato, debido a que predominan rocas volcánicas fracturadas, las condiciones de recarga cambian radicalmente (CEASG, 1999).

Como conclusión de esta compilación de antecedentes e informaciones se puede decir que el acuífero del valle de León es uno de los más estudiados en el estado de Guanajuato en razón de su papel estratégico para el desarrollo de la región como un núcleo económico. El abasto de agua para el abasto urbano y para las diferentes actividades productivas ha sido el principal interés de estos estudios que desde hace tiempo aportan importantes elementos de diagnóstico para comprender el complejo funcionamiento hidrogeológico.

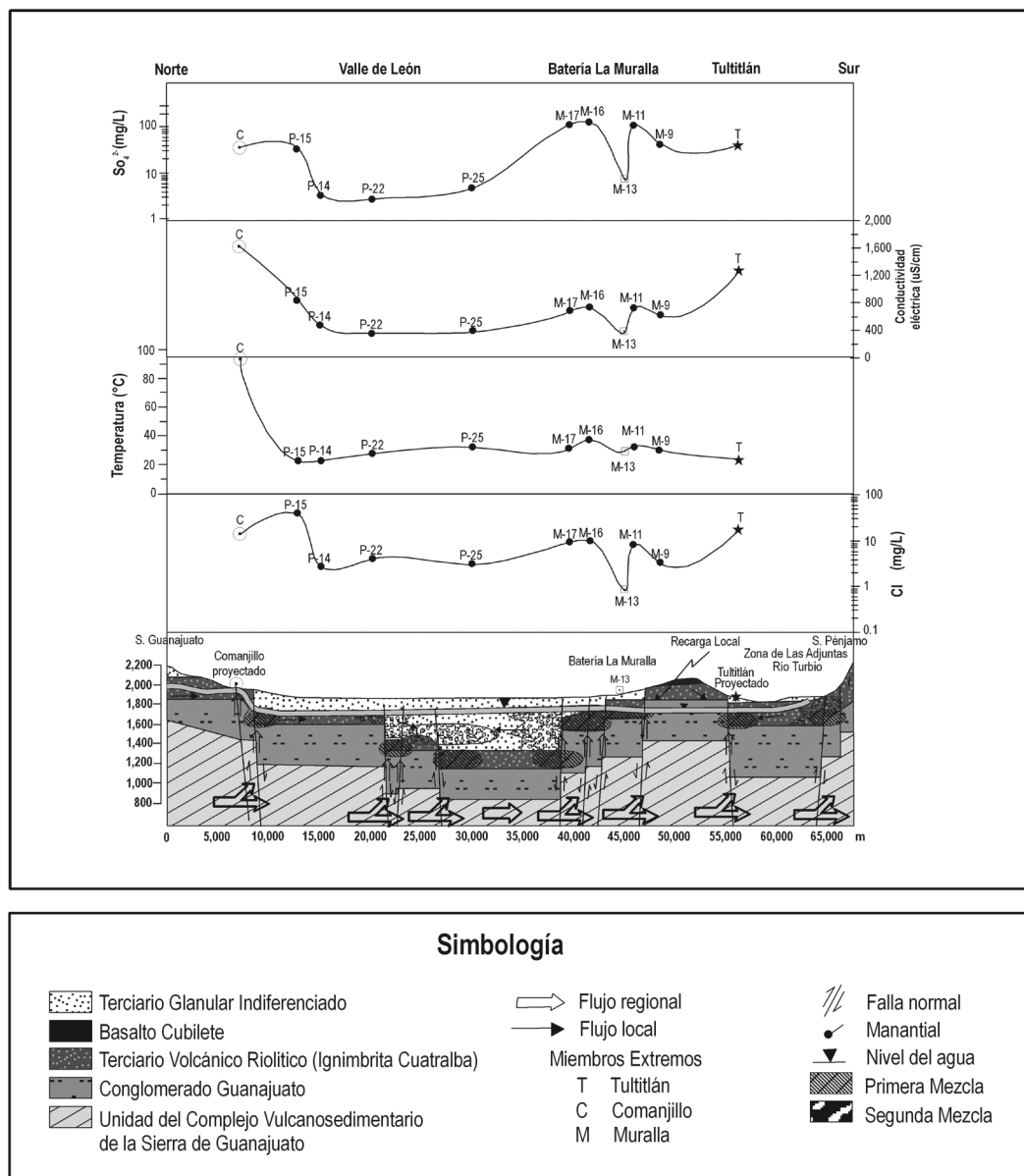


Figura 4.2. Actualización y modificación del modelo del acuífero en el valle de León. Tomado de Ramos *et al.* (2007).

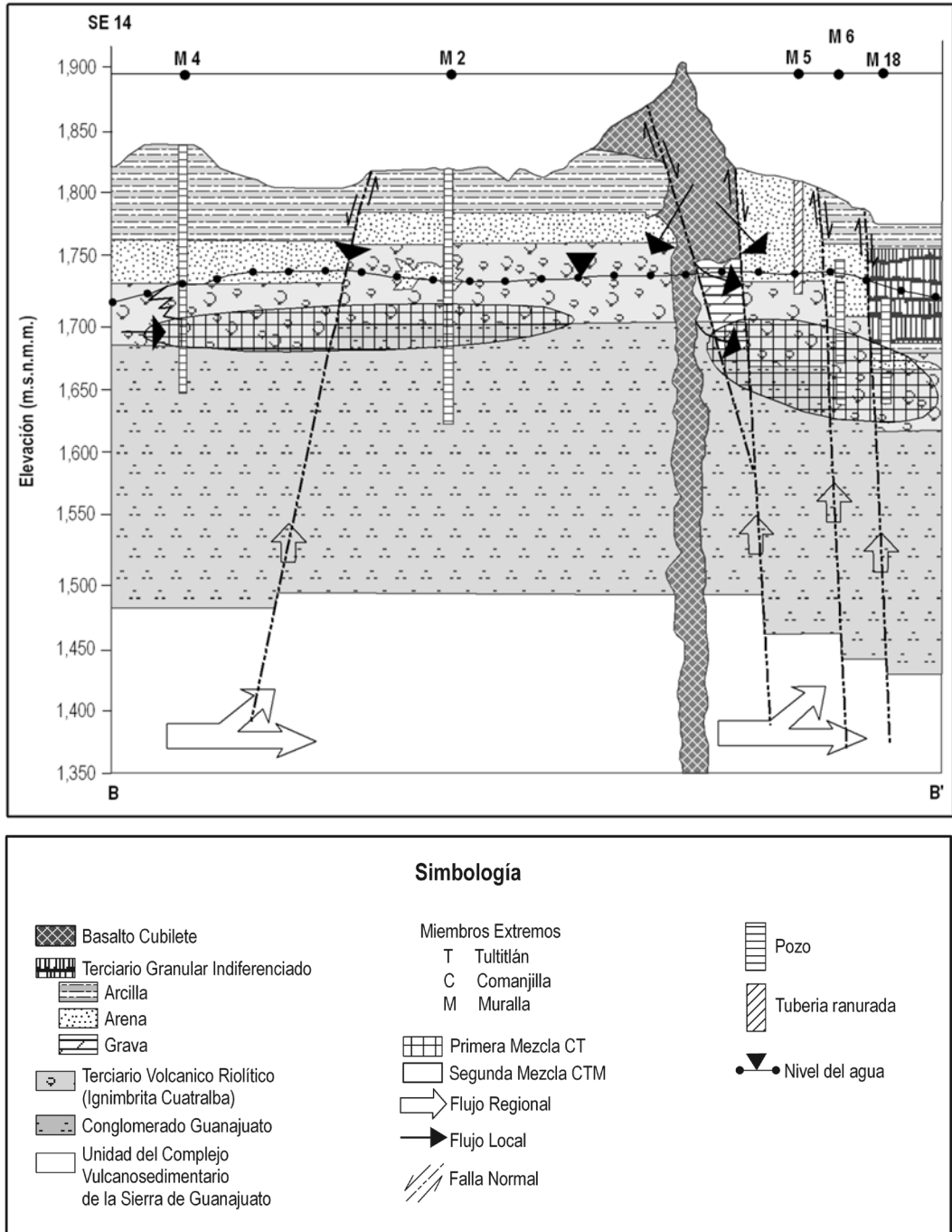
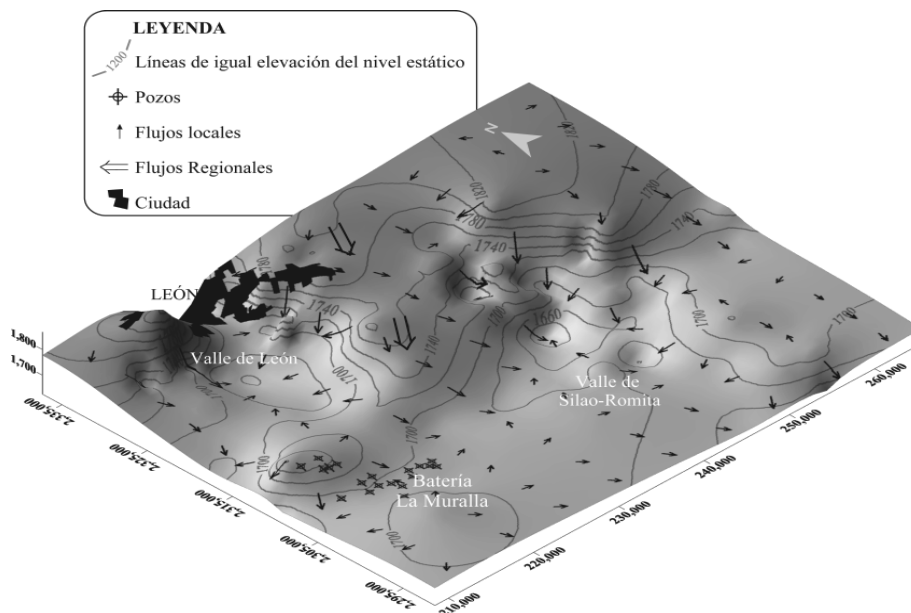


Figura 4.3. Sección geológica en la zona de La Muralla utilizando cortes litológicos de pozos.
Tomado de Ramos *et al.* (2007).



Cuadro 4.1. Clave de la muestra, número de registro y coordenadas UTM (NAD27) de los 25 pozos muestreados. valle de León, Guanajuato. 2007.

Clave	Registro	Latitud	Longitud	Clave	Registro	Latitud	Longitud
AL-01	FEMSA c	224061.81	2337308.77	AL-14	L1172	232579.74	2319073.55
AL-02	L0288 (SAPAL 4 poniente)	212716.98	2331587.20	AL-15	L0942	230125.54	2323241.84
AL-03	SAPAL 21 poniente	211847.13	2334193.37	AL-16	L0275 (Sapal 4 sur)	220164.68	2328479.19
AL-04	L0299(SAPAL 4 turbio)	213457.49	2329001.98	AL-17	L0045	236769.13	2333221.94
AL-05	SAPAL 4A turbio	213202.08	2329372.05	AL-18	L0013	237425.56	2327847.79
AL-06	SAPAL 1B turbio	216874.68	2331955.10	AL-19	L0107	240702.67	2322135.44
AL-07	SAPAL 8 muralla	217390.44	2304612.63	AL-20	L0303	231883.79	2329251.19
AL-08	L1376	215214.28	2307122.13	AL-21	L0089	234305.40	2334544.56
AL-09	L1370	214267.08	2311121.48	AL-22	L0282	218874.33	2320865.36
AL-10	L0253	221918.29	2342941.71	AL-23	Sapal 27 muralla	221689.81	2302671.98
AL-11	L0248	224880.30	2344300.91	AL-24	Sapal 11A	227283.99	2331606.66
AL-12	SAPAL 2 oriente	224055.89	2336954.33	AL-25	Sapal 39 ciudad	227340.84	2333686.81
AL-13	L0136	234923.75	2320540.93				

Para el estudio de geoquímica isotópica (necesario para determinar la edad del agua) se muestrearon rocas, suelos y sedimentos en cinco sitios, en mayo del 2008 (Cuadro 4.2).

Cuadro 4.2. Clave y coordenadas UTM (en NAD27) de los cinco sitios de muestreo de rocas, suelos y sedimentos.

Nº	Clave	Latitud	Longitud
1	RS-1	228561.0	2333440.0
2	RS-2	231509.0	2330730.0
3	RS-3	238617.0	2324450.0
4	RS-4	244669.0	2319940.0
5	RS-5	247011.0	2318250.0

Análisis de muestras

Se determinaron tres parámetros fisicoquímicos del agua *in situ*: temperatura, conductividad eléctrica y pH con un medidor portátil marca Conductronic® modelo PC18 y con indicadores de pH en varillas marca Merck® pH 2.0 a 9.0. Se llevó un juego de muestras al laboratorio de agua, suelo y planta del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en el Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (CENID-RASPA) en Gómez Palacio, Durango para determinarles los siguientes parámetros hidroquímicos con los métodos de medición correspondientes (Cuadro 4.3):

Cuadro 4.3. Parámetros y métodos de medición utilizados.

Parámetro	Método
Conductividad eléctrica	Puente de conductividad de Wheatstone
pH	Potenciométrico
Calcio soluble	Espectrofotometría de absorción atómica
Magnesio soluble	Espectrofotometría de absorción atómica
Sodio Soluble	Espectrofotometría de absorción atómica
Potasio Soluble	Espectrofotometría de absorción atómica
Carbonatos solubles	Colorimétrico con ácido sulfúrico
Bicarbonatos solubles	Colorimétrico con ácido sulfúrico
Sulfatos solubles	Turbidimétrico
Cloruros solubles	Colorimétrico con nitrato de plata
Nitratos	Colorimétrico con ácido salicílico y sosa
Boro	Colorimétrico

A las muestras de rocas, suelos y sedimentos se les determinó el contenido de carbonatos totales (método del calcímetro) en el laboratorio del CENID RASPA, así como el valor delta del carbono 13 ($\delta^{13}\text{C}$) en el laboratorio de isotopía ambiental de la Universidad de Arizona, Tucson, EUA.

Métodos isotópicos

Se acondicionó y envió un juego de muestras a la Universidad de Arizona, Tucson, EUA para los análisis correspondientes al estudio de datación del agua. Se realizaron determinaciones del radiocarbono (^{14}C) en las instalaciones del acelerador de la *Nacional Science Foundation* de Arizona y las determinaciones del valor delta del carbono 13 ($\delta^{13}\text{C}$) se efectuaron en el laboratorio de isotopía ambiental, ambos de la Universidad de Arizona.

Para determinar los cambios en el contenido de carbono inorgánico disuelto (DIC) en el agua subterránea, se seleccionaron los métodos reportados por Clark y Fritz (1997) ya que los valores del radiocarbono no pueden utilizarse directamente para estimar el tiempo de residencia promedio de las aguas subterráneas, en contraste con la edad de la madera y el carbón en los que se utiliza en forma directa. Se utilizó el método de isótopos estables del carbono que se basa en los cambios ocurridos en el $\delta^{13}\text{C}$ para estimar los factores de dilución del ^{14}C original presente en las aguas subterráneas durante el tiempo de recarga y a partir de esos cambios se calcula el tiempo de residencia promedio.

Para la aplicación de este método es importante conocer la vegetación dominante en el área de estudio, si son especies C_3 o C_4 . También se utilizó el método reportado por Fontes y Garnier (1979) y Fontes, (1985) que se basa en el contenido de $\delta^{13}C$ y de iones mayores disueltos. El porcentaje de carbono moderno es la actividad del ^{14}C de una muestra de agua expresada como porcentaje de un valor de actividad del ^{14}C estándar o de referencia establecido por el *National Bureau of Standards* (NBS). Con la información de campo y de laboratorio, se conformó una base de datos fisicoquímicos e isotópicos propios para la datación de las aguas subterráneas del acuífero valle de León, Guanajuato.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las bases de datos de los Anexos 1 y 2 incluidos en el CD muestran los resultados brutos de los análisis químicos e isotópicos practicados a las veinticinco muestras de agua subterránea y a las cinco muestras de rocas, sedimentos y suelo del valle de León Guanajuato.

Tomando en cuenta que los valores de ^{14}C no pueden utilizarse de manera directa para estimar la edad del agua, a continuación se muestra el procedimiento de corrección realizado con los dos métodos isotópicos utilizados. Para calcular el porcentaje de carbono moderno (o porcentaje de un valor de actividad del ^{14}C estándar) en el agua subterránea de recarga, es necesario considerar algunas asunciones o supuestos cuyas posibles desviaciones pueden causar errores que afectan los resultados finales.

Isótopos estables del carbono

El procedimiento está basado en lo expuesto por Clark y Fritz (1997), en el sentido de que el valor $\delta^{13}C$ del gas del suelo está determinado por factores como los contenidos relativos de material vegetal (de plantas de ciclo C_3 y C_4) y la difusión de CO_2 fuera del suelo. El ^{14}C en el agua de recarga es diluido por el ^{14}C adicional cuando el agua de infiltración que contiene CO_2 disuelve la roca calcita que encuentra a su paso, de acuerdo a la reacción siguiente:



Si la mayor parte de esa disolución ocurre a partir de calcita antigua que no contiene ^{14}C , el bicarbonato producido tendrá un valor delta de carbono ($\delta^{13}C$) cercano al valor de la roca calcita y el contenido de ^{14}C es igual a cero; es decir, tendrá un porcentaje de carbono moderno nulo (pMC = 0).

Se debe definir un factor de dilución para el ^{14}C como “q” de acuerdo a la fórmula:

$$q = a^{14}C_{DIC} / a^{14}C_{rech} \quad (2)$$

Donde el término $a^{14}C$ significa la actividad del ^{14}C expresada como porcentaje de carbono moderno; DIC es el carbono inorgánico disuelto; rech es el ^{14}C de recarga.

Utilizando el equilibrio isotópico basado en los datos del $\delta^{13}C$, “q” se puede expresar también de la siguiente manera:

$$q = (\delta^{13}C_{DIC} - \delta^{13}C_{carb}) / (\delta^{13}C_{rech} - \delta^{13}C_{carb}) \quad (3)$$

Donde carb es el carbonato disuelto de la calcita. Considerando el fraccionamiento entre gas del suelo y carbono inorgánico disuelto (DIC):

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{rech}} = \delta^{13}\text{C}_{\text{soil CO}_2} + \alpha_{\text{DIC-soil CO}_2} \quad (4)$$

Donde $\alpha_{\text{DIC-soil CO}_2}$ es el factor de fraccionamiento entre DIC y el CO_2 del gas del suelo y depende del pH, a condición de que el pH sea superior a 7, en cuyo caso DIC será casi enteramente bicarbonato.

Asunciones del método de isótopos estables del carbono

Con el propósito de aplicar este método de corrección del $\delta^{13}\text{C}$ a los datos isotópicos de las aguas subterráneas muestreadas se asumió lo siguiente:

1. Que el agua subterránea interactúa con la calcita de rocas y sedimentos con valores de $\delta^{13}\text{C}$ de -7.5 a -11.2‰ de acuerdo a la disolución y análisis de la calcita practicada en dichos materiales (ver Anexo 2). A mayor abundancia de calcita se observan valores más altos de $\delta^{13}\text{C}$.
2. Que el gas del suelo se forma por la descomposición de material vegetal que consiste en 25% de plantas C_4 y 75% de plantas C_3 . El gas del suelo con plantas C_3 tiene un $\delta^{13}\text{C}$ cercano a -23‰, y el de plantas C_4 tiene un $\delta^{13}\text{C}$ cercano a -10.5‰ (asumiendo promedios de -25‰ y -12.5‰ para el material vegetal de plantas C_3 y C_4 , respectivamente y un cambio isotópico de 2‰ debido a la difusión de CO_2 fuera del suelo). Por lo tanto, el valor de $\delta^{13}\text{C}$ en el suelo es -19.9‰.
3. Que la infiltración del agua de lluvia desarrolla rápidamente un pH cercano a 7, lo cual causa que el carbono inorgánico disuelto (DIC) sea en su mayoría bicarbonato y que el factor de fraccionamiento del $\delta^{13}\text{C}$ (DIC-gas del suelo) sea 5.7‰.
4. Que no hay fuentes adicionales del DIC, solo del gas del suelo y de los minerales carbonatados disueltos.

Con estas asunciones y utilizando un valor promedio de -8 para el $\delta^{13}\text{C}$ en el carbonato del suelo, la ecuación de "q" se transforma en:

$$q = (\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}} + 8) / (-19.9 + 5.7 + 8) = (\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}} + 8) / -6.2 \quad (5)$$

Los resultados de esta corrección se enlistan en el Anexo 3 (Caso D) y corresponden a valores pequeños, en algunos casos igual a cero o negativos. Los valores de $a^{14}\text{C}_{\text{rech}}$ (mostrados como a0 en el anexo 3) son demasiado altos. Ajustando la asunción número 2 al 50%, cada uno de los datos de entrada de C_3 y C_4 ($\delta^{13}\text{C}$ del gas del suelo -17‰), se obtienen algunos resultados con error para el $a^{14}\text{C}_{\text{rech}}$. Al ajustar la asunción número 3 utilizando un factor de fraccionamiento menor (que corresponde a pH de suelo más bajo) también se obtienen valores altos de $a^{14}\text{C}_{\text{rech}}$.

El problema con los valores elevados de $a^{14}\text{C}_{\text{rech}}$ parece estar relacionado con la asunción 1 que implica el $\delta^{13}\text{C}$ de la roca calcita. Los resultados de estos cálculos indican que el agua subterránea no muestra cambios por la disolución de calcita si ésta presenta $\delta^{13}\text{C}$ de -8‰ o menor. Los Casos A, B y C del Anexo 3 muestran que este método funciona con valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -4 y 0‰. También parece improbable encontrar valores de $\delta^{13}\text{C}$ mayores a 0‰.

Método Fontes-Garnier

Con este método se calcula el contenido del carbono inorgánico disuelto en el agua (DIC) producto de la disolución de calcita mineral (DICc) y se basa en el análisis de los iones mayores presentes en el agua subterránea cuya concentración se da en las mismas unidades (Clark y Fritz 1997); por

ejemplo, en mmol/L, así:

$$\text{DICc} = \text{Ca} + \text{Mg} + 0.5 (\text{Na} + \text{K}) - \text{SO}_4 - 0.5 (\text{Cl} + \text{NO}_3) \quad (6)$$

La fracción de este DIC que se ha intercambiado con el CO_2 del suelo (mDICE) se calcula mediante una ecuación de equilibrio isotópico:

$$\text{mDICE} = \{ \text{mDICT}^* \cdot \delta^{13}\text{C}_m - \text{mDICc}^* \cdot \delta^{13}\text{C}_c - \delta^{13}\text{C}_s^* (\text{mDICT} - \text{mDICc}) / (\delta^{13}\text{C}_s - \epsilon_{\text{CO}_2\text{-CaCO}_3} - \delta^{13}\text{C}_c) \} \quad (7)$$

En donde:

mDIC = unidad de concentración molar del DIC

t = medido en el DIC total

c = carbonato disuelto

s = gas del suelo

$\epsilon_{\text{CO}_2\text{-CaCO}_3}$ = fraccionamiento isotópico del carbono entre CO_2 y la Calcita

El factor de dilución “q” del método Fontes-Garnier es:

$$q_{f-g} = (\text{mDICT} - \text{mDICc} + \text{mDICE}) / \text{mDICT} \quad (8)$$

Asunciones del método de Fontes-Garnier

1. Que el agua subterránea interactúa con la calcita de rocas y sedimentos con valores de $\delta^{13}\text{C}$ de -7.5 a -11.2‰ de acuerdo a la disolución y análisis de la calcita practicada en dichos materiales (ver Anexo 2). A mayor abundancia de calcita se observan valores más altos de $\delta^{13}\text{C}$.
2. Que el gas del suelo se forma por la descomposición de material vegetal que consiste de un 25% de plantas C_4 y un 75% de plantas C_3 . El gas del suelo de las plantas C_3 tiene un $\delta^{13}\text{C}$ cercano a -23‰, y el gas de las plantas C_4 tiene un $\delta^{13}\text{C}$ cercano a -10.5‰ (asumiendo promedios de -25‰ y -12.5‰ para el material vegetal de plantas C_3 y C_4 , respectivamente y un cambio isotópico de 2‰ debido a la difusión de CO_2 fuera del suelo). Por lo tanto, el valor de $\delta^{13}\text{C}$ en el gas del suelo es de -19.9‰.
3. Que todo el Ca y Mg en solución surge de la disolución del carbonato mineral o de sales solubles. La disolución de silicatos minerales que puede ser importante en rocas ígneas intermedias, no sería consistente con esta asunción.
4. Que no hay fuentes adicionales de DIC más que el gas del suelo y de los minerales carbonatados disueltos.

Estas asunciones pueden modificarse de acuerdo a la información real disponible.

El Anexo 4 enlista los resultados obtenidos de los cálculos con las ecuaciones arriba presentadas y las estimaciones de q_{f-g} , así como de pMC corregidos con los valores asumidos de $\delta^{13}\text{C}_s = -17.0\text{‰}$ ya sea con un $\delta^{13}\text{C}_c = 0.0$ (Caso A) o con un $\delta^{13}\text{C}_c = -8.0\text{‰}$ (Caso B).

Los valores de $\delta^{13}\text{C}_c$ menores a 0 producen resultados inaceptables para valores de pMC superiores a 200. Al igual que el método de isótopos estables del carbono, el método Fontes y Garnier no

funciona con $\delta^{13}\text{C}$ bajos (inferiores a -8.0‰) para la roca calcita. El método puede funcionar con $\delta^{13}\text{C}$ tendientes a 0 (pero los valores mayores a cero parecen improbables) y con valores de $\delta^{13}\text{C}$ del gas del suelo que indiquen una proporción 50-50% de material vegetal C_3 y C_4 .

La estrecha relación entre los valores corregidos del pMC en los dos métodos (ver pMC corr en Anexo 4) es función de los valores de $\delta^{13}\text{C}_s$ y $\delta^{13}\text{C}_c$ elegidos y no significa que los valores corregidos sean preferidos por cualquier otra razón más que la de estar dentro de un rango aceptable.

Las muestras (AL-13 y AL-19) que mostraron resultados aberrantes con el primer método de corrección de $\delta^{13}\text{C}$, también presentaron resultados aberrantes con el método de Fontes y Garnier. Debido a un problema de contaminación por gases atmosféricos al momento de su muestreo.

CONCLUSIÓN DEL USO DE AMBOS MÉTODOS

Los resultados mostraron que ninguno de los métodos de corrección utilizados funciona en forma adecuada con los valores de $\delta^{13}\text{C}$ medidos en la calcita de rocas y sedimentos, esto implica que la disolución de calcita con valores $\delta^{13}\text{C}$ entre -11 y -7.5‰ no es responsable de la dilución del ^{14}C en el conjunto de muestras, no obstante que la calcita esté presente en el valle de León (siempre con valores bajos de carbonatos totales, tanto en suelos superficiales como en rocas que afloran a la superficie). Sin embargo, ambos métodos pueden funcionar adecuadamente con valores de $\delta^{13}\text{C}$ de la roca calcita cercanos a 0‰ , pero con diferentes valores de $\delta^{13}\text{C}$ procedentes del gas del suelo.

Bajo condiciones preestablecidas de manera convencional con las que si funcionan los métodos de corrección, se obtienen edades con relaciones consistentes. Este resultado es relativamente insensible a los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de la roca calcita como se muestra en los Casos A, B y C del Anexo 3.

Relaciones entre el carbono inorgánico disuelto (DIC) y los isótopos de la calcita

Los rangos de $\delta^{13}\text{C}$ en la roca + sedimentos de calcita; y el $\delta^{13}\text{C}$ del DIC se sobreponen casi exactamente, lo cual plantea la pregunta si la recarga ocurre no obstante la cuenca sedimentaria: ¿Indica esta sobreposición de rangos la existencia de una relación? Se proponen dos alternativas: 1: El DIC y la calcita tienen el mismo rango de $\delta^{13}\text{C}$ porque el DIC se deriva directamente de la calcita; y 2: El DIC y la calcita tienen el mismo rango de $\delta^{13}\text{C}$ porque la calcita se deriva directamente del DIC. No es posible derivar simplemente todo el DIC de la disolución de la calcita. El CO_2 de otra fuente, que no parece tener el mismo rango de $\delta^{13}\text{C}$, debe también estar presente en la disolución de la calcita.

Por otro lado, la evaporación del agua subterránea descargada en los sedimentos de la cuenca desde las rocas volcánicas subyacentes puede bien dejar detrás de ella un residuo de calcita con el mismo rango de $\delta^{13}\text{C}$ que el del DIC. En tiempos no muy antiguos al desarrollo actual, algunos manantiales descargaban sus aguas en la superficie de las colinas que bordean la cuenca de León. La descarga de agua subterránea en los sedimentos de la cuenca, sobre todo en los que están cerca de los bordes montañosos, fue algo que también pudo haber ocurrido.

Implicaciones de los resultados en diferentes áreas de la región

La corrección de los datos de radiocarbono con el factor de dilución mostró valores diferentes de los brutos y en su mayoría dentro del rango de valores del $\delta^{13}\text{C}$ atmosférico ubicados en el periodo

de 1955 al presente (ver Caso B del Anexo 3 y Figura 4.6). Estos resultados tienen las siguientes implicaciones de acuerdo a sus áreas geográficas:

Área cercana al antiguo aeropuerto

El grupo de muestras (AL-12, AL-18, AL-20, AL-21, AL-24 y AL-25) colectadas en el área del antiguo aeropuerto mostró los valores más altos de porcentaje de carbono moderno (pMC) tanto en los datos sin corregir (75 a 112) como en los corregidos (149 a 161). Una inspección preliminar del mapa con los valores corregidos (Figura 4.6) sugiere que esta es la principal área de recarga en el valle de León. El rango del pMC corregido es menos de la mitad del rango de valores brutos, sugiriendo que el procedimiento de corrección utilizado (con valores de $\delta^{13}\text{C}$), reagrupa esas aguas de acuerdo a su edad o tiempo de residencia. Este resultado persiste aun si se introducen desviaciones en las asunciones que permiten calcular la edad del grupo.

Las asunciones aplicadas en los Casos A, B y C del Anexo 3 conducen a la conclusión de que el agua subterránea muestreada en esta área se recargó durante la década de 1960 o de 1970. Si el valor asumido de $\delta^{13}\text{C}$ del gas del suelo es demasiado alto, los valores del pMC corregido serán también altos hasta un máximo valor posible de 200 pMC, pero la conclusión sobre la edad permanece esencialmente la misma: la recarga de esa agua subterránea ocurrió durante la década de 1960.

Dos de los pozos en esta área (AL-01 = FEMSA C y AL-17 = pozo L0045 de Duarte) captan agua mucho más antigua con un tiempo de residencia media, de acuerdo al caso B, de 4150 y 2510 años respectivamente (Figuras 4.5 y 4.6).

Área Oeste de la ciudad de León y área Oeste de la zona de recarga con aguas negras.- En esta área, las rocas fracturadas adyacentes a la parte aluvial captaron aguas antiguas, con valores de pMC corregido de 34 a 66, utilizando las asunciones del Caso B en el Anexo 3. Los tiempos de residencia correspondientes son de 9000 a 3400 años respectivamente. Las aguas en los sedimentos adyacentes son más jóvenes con valores corregidos de pMC entre 103 a 110. Esto puede representar una mezcla de aguas subterráneas jóvenes (que se infiltran desde drenajes superficiales locales, o de la recarga de aguas negras) con aguas subterráneas antiguas que recargan el material aluvial desde el bloque montañoso, pero es muy poco probable que exista una recarga importante desde ese bloque montañoso adyacente. De acuerdo con los datos de ^{14}C , la recarga en este segmento es menos importante que la del área cercana al antiguo aeropuerto.

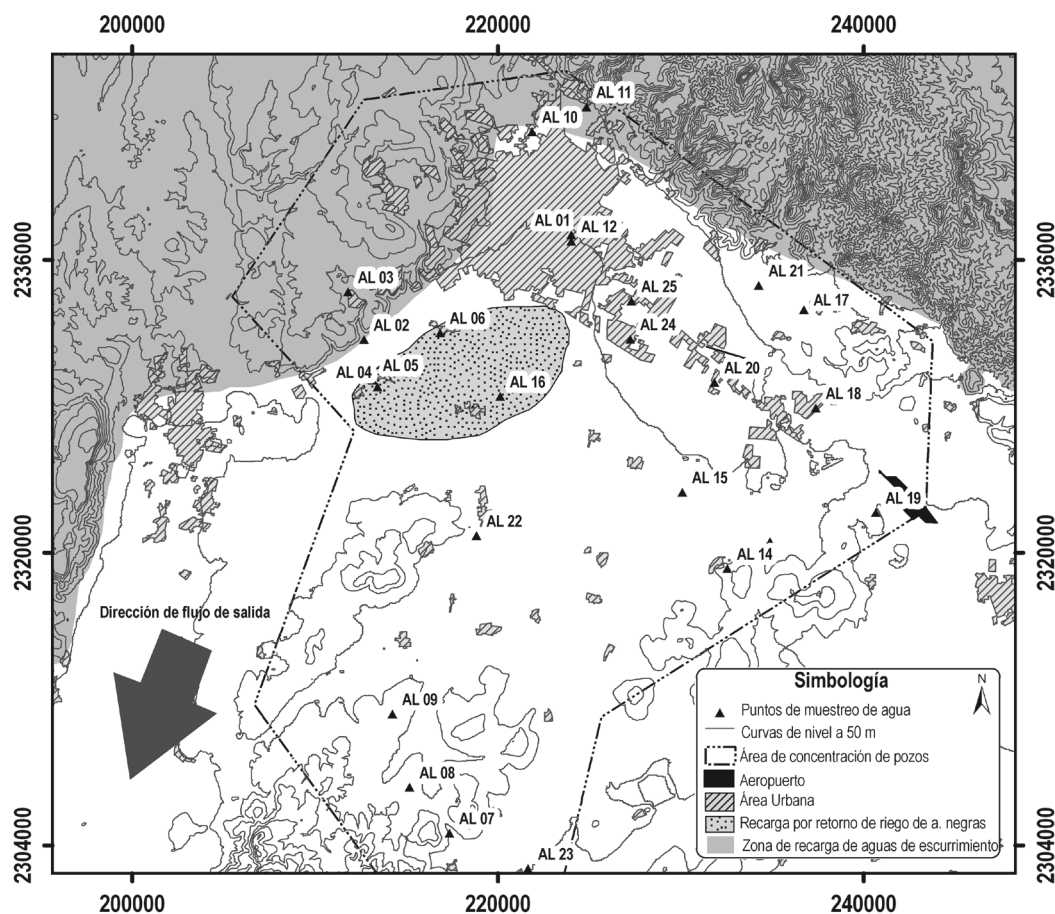


Figura 4.5. Localización de los sitios de muestreo de agua subterránea, rocas y sedimentos, en el valle de León. Gto.

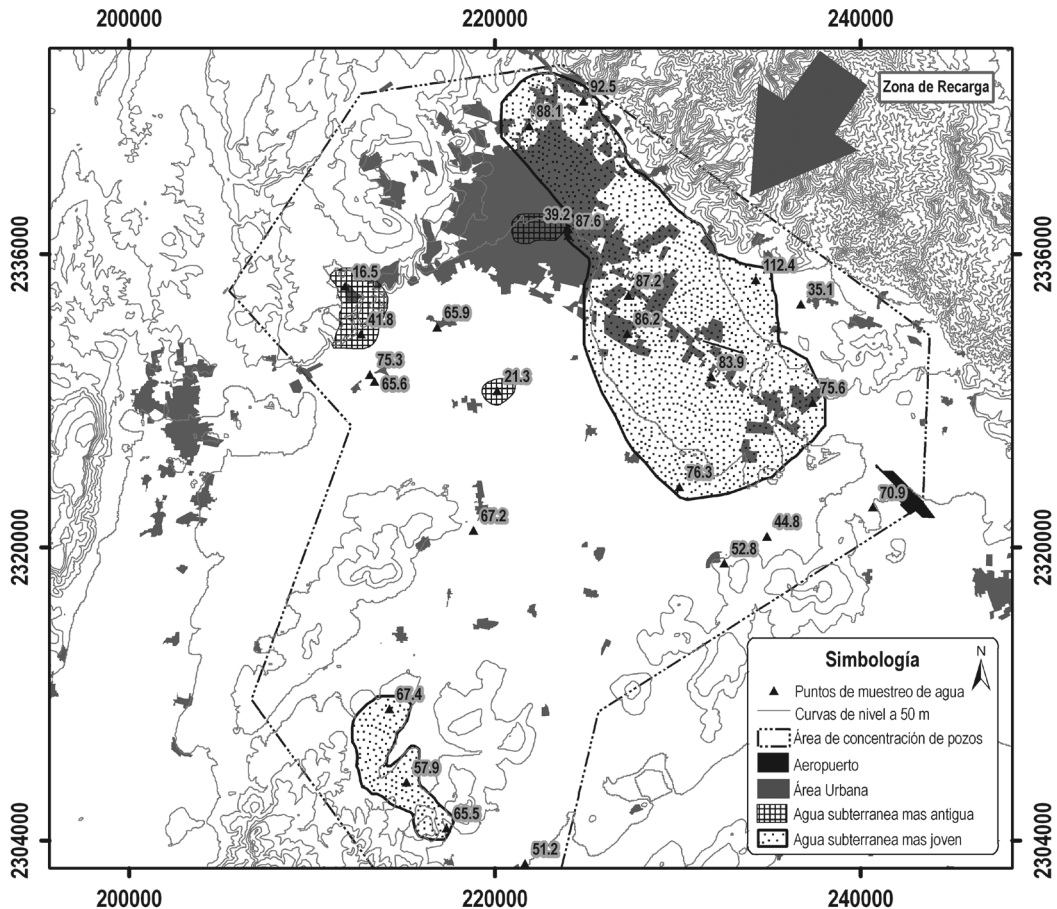


Figura 4.6. Mapa de localización de aguas subterráneas jóvenes y antiguas y zona de recarga principal del acuífero del valle de León, Guanajuato

Zona de recarga de aguas negras.- Algunas de las aguas más antiguas de la cuenca provienen del pozo AL-16 bajo esta área (pozo 4 Sur de SAPAL) con un valor de pMC corregido de 34.2 lo cual corresponde a un tiempo de residencia medio cercano a los 8900 años (ver Caso B del Anexo 3). Otros pozos en esta zona (AL-04 = pozo 4 turbio de SAPAL y AL-06 = 1B turbio de SAPAL) tienen valores de pMC corregido de 103 a 110 como se anotó arriba y reflejan una recarga posterior al periodo de detonaciones nucleares (post-bomba) es decir una edad reciente.

Área de extrusiones volcánicas al Sur y al Este del valle de León.- Las muestras de estas áreas, o cercanas a ellas, tienen en su mayoría valores de pMC corregido entre 105 y 137. Estos valores son consistentes con la recarga desde 1955 (pero no de las décadas de 1960 o 1970). Un pozo en esta área (AL-23 = Muralla 27 de SAPAL) muestra un agua subterránea más antigua, con un valor de pMC corregido de 93, probablemente recargada entre los últimos 600 a 1000 años.

CONCLUSIONES

Las aguas subterráneas más recientes en el valle de León, se localizan bajo el abanico aluvial situado en el área próxima al antiguo aeropuerto, al oriente de la ciudad de León. Estas aguas ingresaron al acuífero en el periodo posterior a las grandes detonaciones nucleares (pruebas y ensayos nucleares), es decir, de 1955 al presente y muy probablemente durante las décadas de 1960 y 1970.

En las áreas con rocas volcánicas que afloran al sur y al este del valle de León (La Muralla y Santa Ana del Conde) el agua subterránea es de reciente ingreso 40 – 50 años; sin embargo, en el sur de esta área la edad del agua subterránea oscila entre 600 y 1000 años.

El agua con antigüedad de 2500 a 9000 años se ubica en las rocas volcánicas del flanco montañoso al oeste de la ciudad de León (AL-02 y AL-03: pozos 4 poniente y 21 poniente de SAPAL) y en algunos sitios diseminados tanto en la ciudad de León (AL-01: pozo FEMSA C) como en el valle (AL-16 y AL-17: pozos 4 sur de SAPAL y L0045 en el poblado de Duarte).

Los métodos de datación utilizados muestran, de manera convincente, vías de flujo subterráneo relacionadas con el cambio progresivo en el porcentaje de carbono moderno (pMC), por lo que la aplicación de otros métodos como el NETPATH (que permite modelar la evolución del agua superficial hacia agua subterránea y el cálculo de los periodos de transito hidrogeológico) no arrojarían resultados más confiables o mejores que los obtenidos.

Las desviaciones observadas en el análisis isotópico de la calcita presente en rocas y sedimentos (valores obtenidos para el $\delta^{13}\text{C}$ de la calcita), pueden corregirse en forma independiente, con la determinación de Tritio en las aguas subterráneas de recarga más reciente.

Todos estos resultados tienen implicaciones regionales muy importantes que no pueden dejar de mencionarse.

En el área oriente de la ciudad de León, desde “Los Castillos” hasta la población de “Duarte”, las actividades productivas (urbanas, agrícolas, pecuarias, industriales u otras) deben regularse para proteger las vías hidrogeológicas preferenciales presentes en los abanicos aluviales que descienden desde el flanco suroeste de la *Sierra de Lobos* y que pueden transportar, con relativa facilidad y rapidez, hasta las reservas de agua subterránea, los contaminantes mas móviles y recalcitrantes que se descarguen en la superficie del suelo. Esta área debe clasificarse como una de las zonas más vulnerables, desde el punto de vista hidrogeológico y tomar las previsiones necesarias para mantener su saneamiento. Estos resultados coinciden con los reportados por la CEASG en 2002 en los que se considera al oriente de la ciudad de León como una de las dos zonas de riesgo más vulnerables (zonas R2 y R3). Desde el punto de vista de los recursos naturales y su manejo sostenible, la vertiente suroeste de la *Sierra de Lobos* que desciende hasta los abanicos aluviales cercanos a las poblaciones de: Los Castillos, Ojo de Agua de los Reyes, Ibarillas, Los naranjos, Alfaro, San José del Potrero, San Nicolás de González, San Juan de Otates, La laborcita y Duarte, debe ser identificada como un área de protección para la vegetación, el suelo y los materiales pétreos y minerales existentes en ella; ya que la condición biofísica de esta vertiente condicionará de manera importante el volumen y la calidad del agua superficial que recarga las reservas de agua subterránea. Es decir, en esta vertiente deberán mantenerse en buen estado las vías naturales de circulación del agua para asegurar la cantidad y buena calidad de esas reservas.

En la vertiente suroeste de la *Sierra de Lobos* se podrían cuantificar con precisión los volúmenes de agua renovable que determinan el balance hidrológico y la disponibilidad de agua regional.

Los planes de desarrollo económico de la región deberán tomar en cuenta que las fuentes del agua subterránea más renovable se localizan al oriente de la ciudad de León, donde el crecimiento industrial y los proyectos de desarrollo urbano podrían afectar la calidad de este recurso.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su gratitud a las instituciones y personas que ayudaron a la realización de este trabajo, particularmente: a la Jefatura de Fuentes de Abastecimiento del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León (SAPAL), al Consejo Técnico de Aguas de León (COTAS), a la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG), a la Secretaría de Desarrollo Agropecuario de Guanajuato (SDA), al Instituto Municipal de Planeación de León (IMPLAN), así como a los amables usuarios y encargados de pozos de agua subterránea muestreados en el valle de León.

LITERATURA CITADA

- Alaniz A., S. y A. Nieto S. 2005. El Sistema de fallas Taxco-San Miguel de Allende y la Faja volcánica Transamericana dos fronteras tectónicas del centro de México activas durante el Cenozoico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 57(81) 65-82.
- Aranda G., J. J., C. D. Henry and F. W. Macdowell. 2003. *Cenozoic volcanic-tectonic development of northwestern Mexico a transaction across the Sierra Madre Occidental volcanic field and observations on extension-related magmatism in the southern basin and range Gulf of California tectonic provinces. In Geologic transect across Cordilleran Mexico. 99th Annual meeting of the Cordilleran Section of the Geological Society of America*. UNAM Instituto de Geografía. Publicación especial. 1: 71-121.
- Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Guanajuato (CEASG). 1995. Resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos realizados dentro del valle del Río Turbio, Guanajuato. Ingeniería Geológica Computarizada, S.A. de C.V. Informe técnico 115 p.
- Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Guanajuato (CEASG). 1998a. Sinopsis del estudio hidrogeológico y modelo matemático del acuífero del valle de León Guanajuato. GUYSA, S. A., de C. V. 34 p.
- Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Guanajuato (CEASG). 1998b. Estudio hidrogeológico y modelo matemático del acuífero del valle de León. Plan Estatal Hidráulico de Guanajuato, Diciembre 1998. Vol. I y II Centro Documental de la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Guanajuato. 296 p.
- Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Guanajuato (CEASG). 1999. Desarrollo de un modelo integral para el análisis de las aguas subterráneas y superficiales en las subcuencas de los ríos Turbio y Guanajuato. CEAG, GUYSA, S. A. de C. V. 100 p.
- Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG). 2002a. Proyecto Definición de red para la caracterización y monitoreo de la calidad fisicoquímica del agua subterránea de la zona de estudio de León en el estado de Guanajuato. IPOTARSA. CEAG. 92 p. Ver anexos.

- Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG). 2002b. Estructuración de mapas temáticos de índice de vulnerabilidad de las subcuencas de los ríos Turbio y Guanajuato. Universidad Iberoamericana, León CEAG Informe final.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2000. NOM-011-CNA-2000 que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. 23 p.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2002. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero valle de León, Estado de Guanajuato. CNA Subdirección General Técnica Gerencia de Aguas subterráneas. Subgerencia de evaluación y modelación Hidrogeológica. México, D. F. 13 p.
- Clark, I., and Fritz, P. 1997. *Environmental isotopes in hydrogeology*. Boca Raton, Florida, Lewis Publishers. 328 p.
- Fontes, J. Ch. and J. M. Garnier. 1979. *Determination of the initial ^{14}C activity of total dissolved carbon: a review of existing models and a new approach*. *Water Ressources Research*. 15: 399-413.
- Fontes, J. Ch. 1985. *Méthode au Chlore-36 datation des eaux*. In: E. Roth and Poty (Eds.) *Méthodes de datation par les phénomènes nucléaires naturels, Applications*. Masson, Paris: 399-420.
- Hernández L., N. 1991. Modelo conceptual del funcionamiento hidrodinámico del sistema acuífero del valle de León Guanajuato. UNAM, Facultad de Ingeniería. Tesis de Licenciatura. 75 p.
- Instituto Municipal de Planeación, León, Gto. (IMPLAN). 1997. Plan estratégico urbanístico municipal, León hacia el futuro. Documento Normativo. Plan estratégico de ordenamiento territorial y urbano. Instituto Municipal de Planeación IMPLAN León.
- Johannesson, K. H., D. L. Hawkins, and A. Cortés. 2006. *Do archean chemical sediments record ancient seawater rare Herat element patterns?* *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 70 (2006):871-890.
- Nieto S., A. F. 1992. Callamiento y estratigrafía cenozoicos en la parte sudoriental de la Sierra de Guanajuato: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 9(2):146-155.
- Nieto S., A. F., S. A. Alaniz A. y A. Camprubi C. 2005. La Mesa Central del México: estratigrafía estructura y evolución tectónica cenozoica: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 57(3):285-318.
- Petkova, V. 2004. Red de monitoreo de la calidad del agua subterránea en el municipio de León, Guanajuato. *Revista Aqua forum*. 8:37 30:31p.
- Quintero L., O. 1989. Contribución al conocimiento de la Geología de la Sierra de Guanajuato en la región de Comanja de Corona, Jalisco. UNAM Facultad de Ciencias. Tesis de Maestría. 87 p.

- Ramos L., J. A., J. Durazo L., K. H. Johannesson y A. Ramírez G., 2000. Aplicación de la hidrología isotópica al estudio del acuífero de la Muralla. Resultados y propuestas. Revista Aqua Forum. IV-22: 23-24.
- Ramos L., J. A., T. González M. y J. Durazo L. 2003. La inversión del gradiente hidráulico y sus efectos en la hidrogeoquímica de dos grupos de pozos, bien diferenciados, en la zona de la Muralla, Guanajuato, México. Revista de Geofísica del Instituto Panamericano de Geografía e Historia. 59: 5-17.
- Ramos L., J. A., F. Juárez S., J. Durazo L., T. González M., A. Cortes y K. H. Johannesson, 2004. Evidencias de mezcla secuencial binaria en el acuífero de la Muralla, Guanajuato, México. In: *Groundwater for understanding from local to regional scales*. XXXIII Congreso ALHSUD and 7° Congreso. ALHSUD & IAH ALHSUD & IAH Zacatecas, México.
- Ramos L., J. A., J. Durazo L.; T. González M., A. Ramírez G., K. H. Johannesson and A. Cortés, 2005. *Decay in chloride content of ground water associated to excessive production of a well field near Leon, Mexico*: Geofísica internacional. 44: 385-390.
- Ramos L., J. A., T. González M., F. Juárez S., A. Cortés S. y K. H. Johannesson, 2007. Evidencias hidrogeoquímicas de mezclas de flujos regionales en el acuífero de la Muralla Guanajuato. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. 2007: 24: 293-305.
- Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León (SAPAL). 2001. Estudio isotópico e hidrogeoquímico de la zona de León-Río Turbio, León, México. UNAM Instituto de Geofísica contrato realizado para el SAPAL. Informe técnico. 75 p.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1982. Actualización del estudio geohidrológico del valle de León Guanajuato. Ariel y Consultores, S. A. 1982.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1991. Estudio hidrogeoquímico y modelación matemática del acuífero del Río Turbio para definir las acciones encaminadas a proteger de contaminantes la fuente de abastecimiento de la ciudad de León, Gto., UNAM Instituto de geofísica contrato CC-88-306-D. Informe técnico. 104 p.
- Vasallo M., L. F., J. Martínez R. y J. P. Paris, 1996. Estructuras circulares y lineales en el distrito minero de Guanajuato, México, y su significado en la prospección minera. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 13(2): 252-257.

Cartografía consultada

- Instituto de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1980. Carta topográfica F14C61 (Manuel Doblado) escala 1:50,000.
- Instituto de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1981. Carta hidrológica de aguas superficiales F14-7 (Guanajuato) escala 1:250,000, primera impresión.
- Instituto de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1989. Carta uso del suelo y vegetación F14-10 (Querétaro) escala 1:250,000 primera impresión.
- Instituto de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1991a. Carta topográfica F14-7 (Guanajuato) escala 1:250,000 cuarta impresión.

- Instituto de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1991b. Carta topográfica F14-10 (Querétaro) escala 1:250,000 sexta impresión.
- Instituto de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1992. Carta uso del suelo y vegetación F14-7 (Guanajuato) escala 1:250,000 primera impresión.
- Instituto de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1994. VII Censo agrícola-ganadero. Resultados definitivos para el estado de Guanajuato Tomos I y II 843p + anexos.
- Instituto de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1999a. Carta espacio mapa F14-7 (Guanajuato) escala 1:250,000 segunda impresión.
- Instituto de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1999c. Carta geológica F14-10 (Querétaro) escala 1:250,000 segunda impresión.
- Instituto de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1999b. Carta espacio mapa F14-10 (Querétaro) escala 1:250,000 segunda impresión.
- Instituto de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2000. Carta geológica F14-7 (Guanajuato) escala 1:250,000 segunda impresión.
- Instituto de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2003. Carta hidrológica de aguas subterráneas F14-10 (Querétaro) escala 1:250,000 segunda impresión.
- Instituto de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2005. Carta hidrológica de aguas superficiales F14-10 (Querétaro) escala 1:250,000 tercera impresión.
- Martínez R., J. 1992. Mapa geológico de la sierra de Guanajuato escala 1:100,000 UNAM. Instituto de Geografía. Cartas Geológicas de México serie 1:100,000

Anexos citados (contenidos en el CD-ROM del libro)

- ANEXO 1.- Base de datos fisicoquímicos e isotópicos de las aguas subterráneas muestreadas en el valle de León Guanajuato.
- ANEXO 2.- Base de datos fisicoquímicos e isotópicos de las rocas y sedimentos muestreados en el valle de León Guanajuato.
- ANEXO 3.- Cálculo de factores "q", valores corregidos del pMC y edades, utilizando el método de isótopos estables del carbono $\delta^{13}\text{C}$.
- ANEXO 4.- Cálculo de factores "q" y valores corregidos del pMC con el método Fontes-Garnier.



Jesús A. Muñoz Villalobos

Miguel A. Velásquez Valle

Juan Estrada Ávalos

Ramón Trucíos Caciano

Luis M. Valenzuela Núñez

CAPÍTULO V

VARIABILIDAD EN ESPACIO Y DINÁMICA EN EL TIEMPO DEL USO DEL SUELO

INTRODUCCIÓN

El cambio de uso del suelo depende en gran medida de las necesidades de los humanos. En cada región del país, originalmente, las poblaciones se establecieron en las áreas donde existía la disponibilidad de recursos naturales. Esta estrategia permite a los pobladores de estas áreas urbanas disponer de materias primas y tierras para satisfacer sus necesidades. En este proceso los suelos cambian de uso afectando drásticamente los recursos naturales por la inercia del crecimiento poblacional y la mancha urbana. Esta mecánica del crecimiento social y económico demanda mayores superficies y volúmenes de materias primas, basándose en la depredación de los bosques, suelos y aguas de la región.

La degradación de los suelos ocasionada por los efectos de la deforestación cuando ocurre un cambio de uso del suelo, se pueden volver irreversibles en el sistema hidrológico y en la producción agrícola y pecuaria de la región (Bocco *et al.*, 2001), como puede ser el caso de la *Sierra de Lobos*. Las condiciones ecológicas de esta región (suelos, precipitación y topografía) asociadas con el cambio de uso de suelo, vuelven al suelo vulnerable a la degradación. La degradación y uso inapropiado de este recurso contribuye a posibles inundaciones, disminución de pérdidas en la calidad del agua de ríos y de la productividad agrícola en zonas con suelos degradados.

Actualmente en la región de *Sierra de Lobos*, los suelos sin cobertura vegetal permiten que el agua de lluvia se escurra rápidamente sobre la superficie. Mientras que las áreas que han permanecido con una cobertura vegetal natural o inducida, amortiguan el impacto del agua y permiten una mejor infiltración, mejorando la recarga del acuífero en la zona (OEEG, 1999; PEOTG, 2000).

Se presenta la información de mayor importancia del suelo, enfocado en su caracterización como recurso natural, y el papel que juega en el sector agropecuario como componente principal en la sostenibilidad de la producción agrícola, forestal y ganadera del país. Sin embargo, se debe tener un conocimiento claro de las características básicas del perfil, concepto determinante en el estudio de los aspectos morfológicos del suelo como textura, estructura, color, profundidad etc. Además, el estudio de las propiedades físicas, químicas y biológicas que permite analizar e interpretar los estudios de suelos. Se han considerado los sistemas de clasificación de suelos como las clases de capacidad de uso y el Sistema *Soil Taxonomy* y el de FAO-UNESCO (1990), a modo de herramientas de evaluación e interpretación de suelos.

Las unidades de suelo son la base para desarrollar estrategias básicas de manejo y de planeación para lograr un uso holístico, equilibrado y sostenible de los recursos naturales suelo y agua (García *et al.*, 2001). El aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos depende en gran proporción del conocimiento y del manejo adecuado de los suelos. Los levantamientos de suelos, consisten en un estudio sistemático, la descripción, clasificación, mapeo e interpretación para un uso específico de los suelos de un área, localidad o estado (FAO-ISRIC-ISSS, 1988).

Los objetivos fueron: 1) la elaboración de un diagnóstico de variación en espacio y dinámica en el tiempo que guarda el suelo a partir del análisis del cambio de uso a través de imágenes digitalizadas, y 2) la definición y estructuración de un plan de acciones preventivas encaminado a la conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos agua, suelo y vegetación en el ámbito geográfico del Área Natural Protegida de *Sierra de Lobos*.

METODOLOGÍA

Ubicación del área de estudio

El trabajo se desarrolló en el Área Natural Protegida (ANP) *Sierra de Lobos* localizada al noroeste del municipio de León, Guanajuato entre las coordenadas extremas (x,y) UTM WGS84 (218 000, 2 380 000) esquina noroeste y (263 000, 2 342 000) esquina sureste. La delimitación de dicha área se obtuvo de los 571 puntos (vértices) con coordenadas contenidos en el decreto gubernativo No. 77 de fecha 4 de noviembre de 1997 publicado en el periódico oficial del estado de Guanajuato. El área de estudio comprende la superficie común entre el Sur del ANP *Sierra de Lobos* y el Norte del Municipio de León, Guanajuato, con una superficie de 22,710 hectáreas. Los criterios para seleccionar el área de estudio son la conservación del estado actual de los recursos naturales y la rehabilitación de áreas degradadas. Esta superficie comprende la parte alta de las sub-cuencas La Patiña, El Palote, Las Amapolas y Pénjamo-Irapuato-Silao que pertenecen a la Cuenca Lerma-Salamanca, (Figura 5.1). A escala 1: 25,000 que cubren la superficie de las micro cuencas del área bajo estudio.

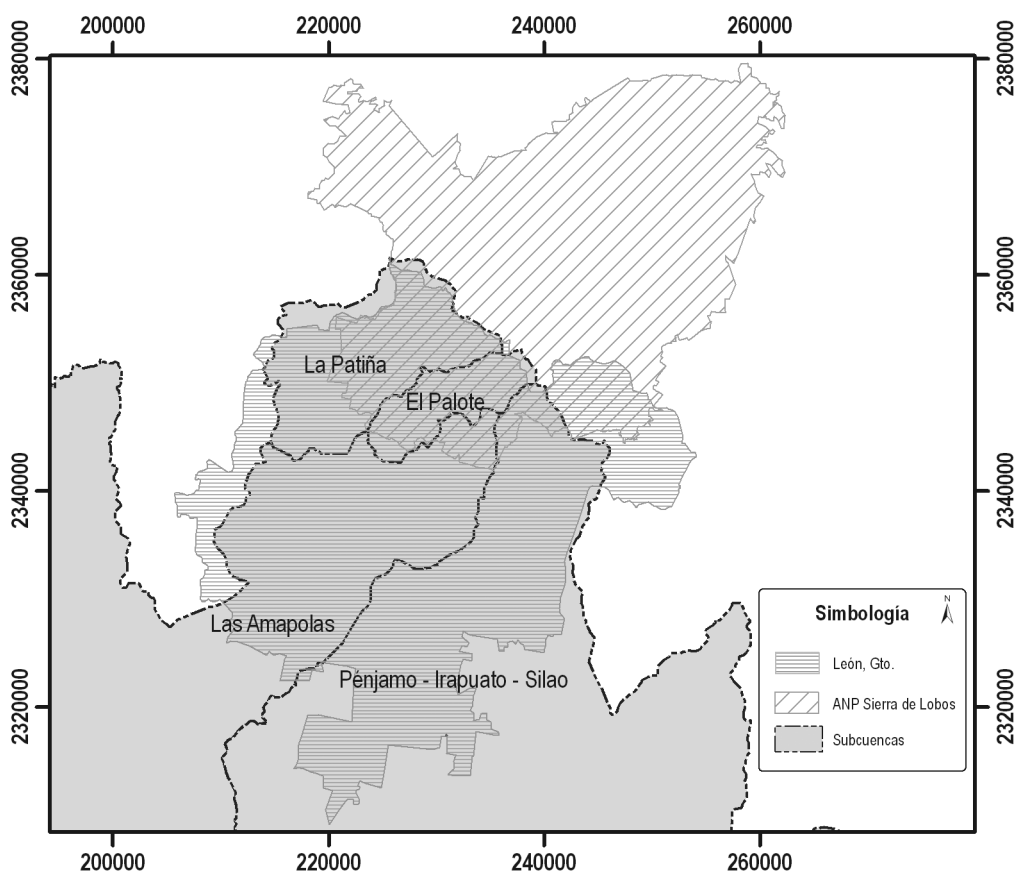


Figura 5.1. Ubicación geográfica y la coincidencia del perímetro del área protegida en base a coordenadas extremas (x,y) UTM WGS84.

Digitalización y análisis de imágenes digitales

Para la digitalización se utilizó el programa para computadora ArcGIS® 9.2 para generar los mapas base. La integración de la base de datos para el análisis de cambio de uso de suelo del presente estudio se realizó a partir de la información del uso de suelo y vegetación de 1970 como estado inicial y 2007 como punto de comparación. La información de 1970 se obtuvo de las fotografías aéreas a color tomadas por INEGI entre diciembre de 1970 y marzo de 1971 a una escala de 1:25,000. Estas fotografías se escanearon para cambiar de formato gráfico a formato digital con una resolución de 1,200 puntos por pulgada; a cada imagen digital se le asignaron puntos de control para geo-referenciarlas tomando como base la información en fotografía orto-rectificada que generó INEGI en 1998. Finalmente se unieron las fotos geo-referenciadas en un mosaico de imágenes a color de 1970 para el área de estudio que se muestra en la Figura 5.2.

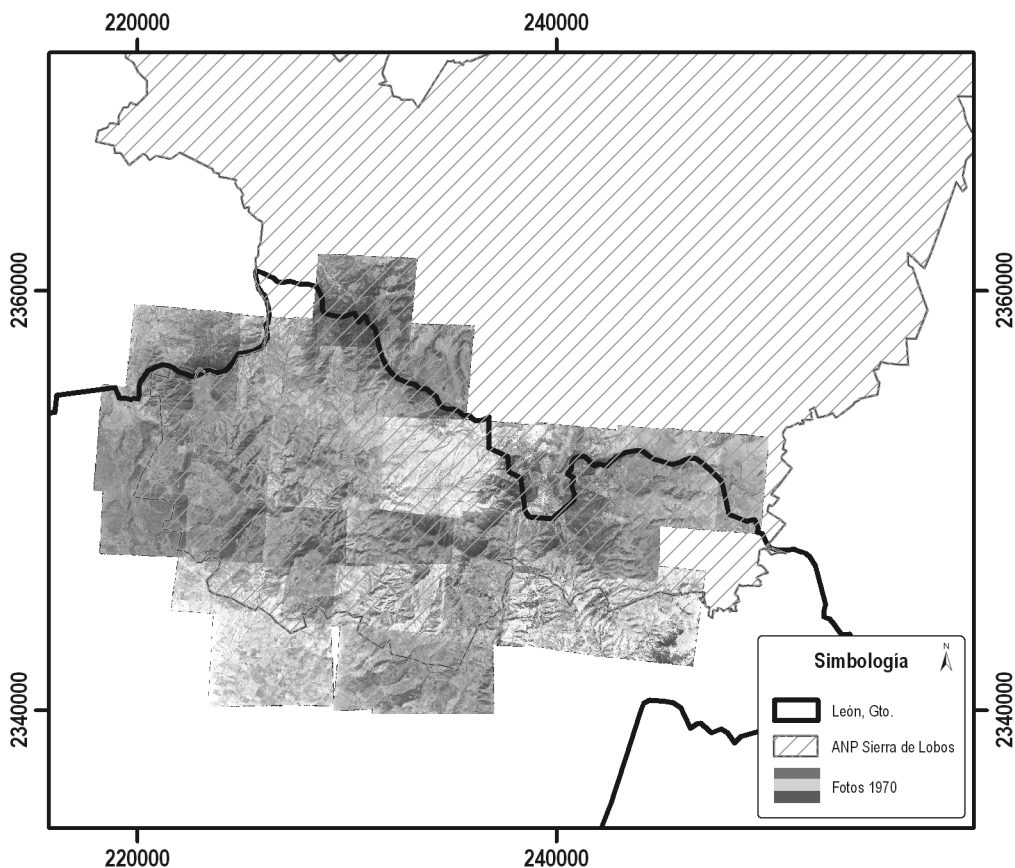


Figura 5.2. Fotografía aérea digitalizada de 1970 y 1971, que muestra un mosaico con información de la parte norte del municipio de León, Guanajuato y el área natural protegida *Sierra de Lobos*.

En el mes de abril del año 2007 se realizó un vuelo sobre el área del municipio de León, Guanajuato y la parte que corresponde al Sur del ANP *Sierra de Lobos* con el objetivo de tomar una serie de fotografías aéreas para formar un mosaico de fotos. Se utilizó una cámara para toma de imágenes

con sensor multi-espectral resultando imágenes con definición de pixel de 1 m. Posteriormente se generó un mosaico de imágenes correspondiente al área de estudio que nos permitió tener el estado de los recursos naturales (suelo y vegetación) en el área de estudio como insumo básico para el desarrollo de este estudio de comparación. Este mosaico de fotografías permitió observar la variación de las fronteras de las áreas con diferente uso de suelo y población vegetal delimitada por el perímetro que enmarca el área de estudio (Figura 5.3).

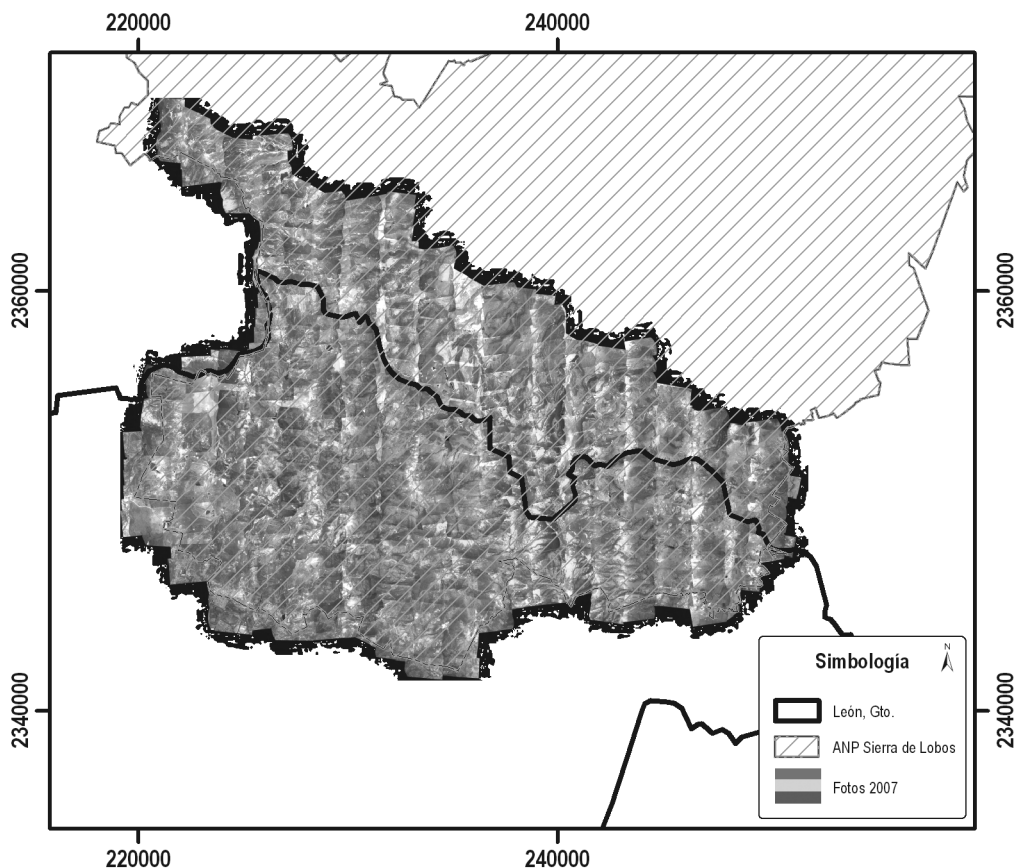


Figura 5.3. Fotografía aérea digital tomada en el año 2007 en el área natural de *Sierra de Lobos* y el municipio de León, Guanajuato con la que se formó un mosaico para la digitalización de las áreas con diferente uso de suelo.

Delimitación de poligonales

Se digitalizaron las cartas de INEGI con los temas de edafología de la zona, otra capa con las curvas topográficas, y para los temas de vegetación y el uso actual del suelo se usó la información de los mosaicos de fotografía aérea ya mencionados. Una de las tareas fue ubicar las áreas con diferente vegetación, suelos y topografía y su variación en la superficie cubierta, de manera precisa, y así delimitar y cuantificar estas superficies. Las cartas se digitalizaron con el ArcGIS® 9.2 para generar archivos con los mapas en forma digital de cada una de estas áreas.

Edafología. El tema de mayor importancia es el de edafología para definir la susceptibilidad a la erosión de los suelos presentes en la zona y en combinación con la topografía del terreno y los cambios de uso de suelo, definir el potencial de degradación al que está sujeto un terreno de acuerdo con los términos de referencia que marca el manual de conservación de suelos del Colegio de Postgraduados (SARH, 1977).

Cambio de uso de suelo. La elaboración del mapa de uso actual del suelo, se llevó a cabo mediante la aplicación del procedimiento basado en la delimitación de áreas homogéneas con las mismas especies de vegetación, a partir de la fotointerpretación de fotografías aéreas y orto fotos digitales, tomando los siete temas que se consideraron para clasificar el uso del suelo. Cada una de esas unidades poligonales se caracterizaron considerando la evaluación de fotointerpretación, el trabajo de campo y por la cartografía antecedente. El proceso que se usó para delimitar las poligonales fue el uso de los mosaicos de las fotografías aéreas de los años ya mencionados, con el objetivo de detectar las variaciones en espacio y tiempo de acuerdo con las superficies y porcentajes de dominancia. Con la ayuda de la digitalización de los mapas formados con la fotografía (mapas de entrada), se generó un tercer mapa con la composición de la sobre posición de los mapas de los mosaicos fotográficos. Para medir la variación en la superficie por el cambio de uso del suelo, se calcularon las áreas de los polígonos digitales para cada tipo de vegetación y otros usos del terreno se usaron las fotografías aéreas mencionadas. Estas imágenes se ubicaron geográficamente, se digitalizaron los polígonos de uso y cobertura de suelo mediante el programa de computadora ArcGIS® 9.2, y se almacenaron e identificaron las imágenes con un nombre de archivo para cada categoría en la base de datos generada en Excel para este estudio. Las tipologías detectadas fueron: (1) Bosque, (2) Pastizal, (3) Matorral, (4) Agricultura de riego y (5) Agricultura de temporal.

RESULTADOS

Edafología del área de estudio

Las condiciones naturales para la producción agropecuaria y forestal se generan a partir del clima, tipo de suelo, y fisiografía del área en estudio (Fernández y García, 2000). Al interior de cada unidad de suelo existen diferencias en cuanto a características naturales y uso del suelo, que favorecen o condicionan la producción agrícola, y su interrelación permite diseñar estrategias para espacios como parcelas, localidades o municipios, o toda una región con capacidad productiva agrícola, pecuaria o forestal (Porta y López, 2003). Las diferencias contrastantes son el relieve, la geología, el clima, la vegetación, la hidrología, la infraestructura productiva y el suelo (SARH, 1977). Este componente es el objeto de estudio de la edafología, que lo explora en lo concerniente a sus procesos; formación, clasificación, taxonomía y potencialidades agrícolas, representando cada tipo condiciones particulares para el establecimiento de asentamientos humanos, lo cual define su aptitud para el desarrollo urbano (Zaragoza, 2007).

Como ya se mencionó la información utilizada está incluida en la cartografía de INEGI con la clave F-14-C31, C32, C41, C42, C51 y C52. Las unidades de suelo dominantes se presentan en una gráfica de barras en la que se observan las unidades que sobresalen del grupo (Figura 5.4), como el Phaeozem (H), Litosoles (I), Planosoles (W), Luvisoles (L), Regosoles (R) y otros con menor superficie como los Vertisoles (V) y Cambisoles (B) (INEGI, 1998).

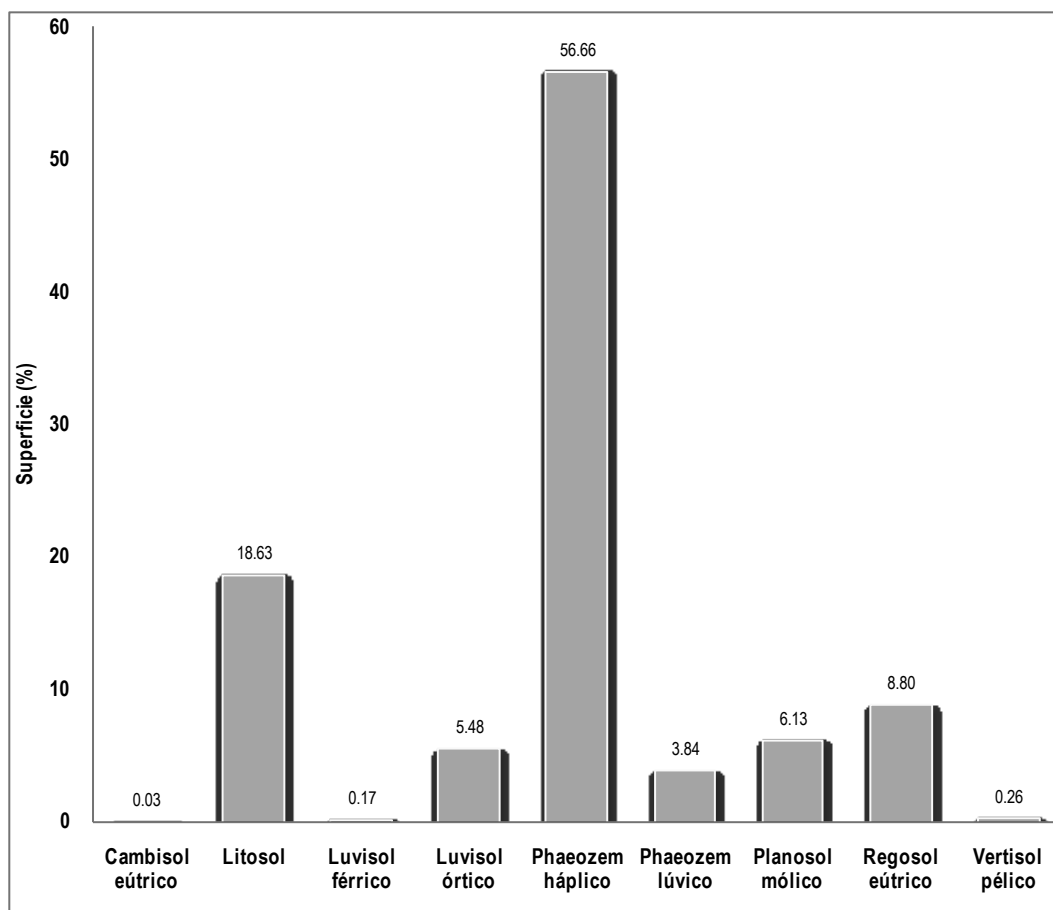


Figura 5.4. Unidades de suelo Principales en el área de la Sierra de Lobos en León, Guanajuato.

De la superficie de suelo que cubre el área, según la clasificación FAO-UNESCO, las unidades de suelo con mayor superficie son los Phaeozem con el 60.5%, los Litosoles con el 18.63% que son los de mayor uso en actividades agrícolas y pecuarias actualmente (Cuadro 5.1). Existen otras unidades edafológicas que por su superficie se encuentran en zonas menos utilizadas en actividades agropecuarias y forestales como los Regosoles, Luvisoles y Planosoles con 8.80, 5.65 y 6.13% respectivamente. Estos suelos son de los que presentan mayores restricciones para el uso agrícola con excepción del planosol. Por ejemplo los Regosoles pueden ser aptos para el uso urbano. Los Vertisoles y los Cambisoles son de las unidades de menor importancia por la superficie insignificante (<1.0%) que representan. Sin embargo, los vertisoles son de los suelos más usados en la agricultura, mientras que los Cambisoles por sus características edafológicas no presentan restricciones para los asentamientos urbanos.

Unidades de suelo y uso potencial

A continuación se describen brevemente las características de las unidades de suelo (de acuerdo con la clasificación FAO-UNESCO) y su aptitud para su uso potencial, en relación a la agricultura, ganadería o actividad forestal. La superficie que se reporta en el Cuadro 5.1 está calculada a partir de la digitalización de las cartas de INEGI, mencionadas anteriormente, incluyendo una parte del municipio de León (4,278.1 ha). Esto se debió a que se digitalizaron los perímetros de los ortogonales completos, aun cuando rebasaron las fronteras del área en estudio, sumando una parte del lado suroeste del municipio de León.

Cuadro 5.1. Superficie de las unidades de suelo dominantes y los porcentajes que cubren en la zona de la Sierra de Lobos en el Municipio de León, Guanajuato

Edafología (1976)	Área (ha)	Superficie (%)
Cambisol eútrico	7.6	0.03
Litosol	5027.8	18.63
Luvisol férrico	46.9	0.17
Luvisol órtico	1479.0	5.48
Phaeozem háplico	15290.7	56.66
Phaeozem lúvico	1035.3	3.84
Planosol mólico	1654.9	6.13
Regosol eútrico	2375.8	8.80
Vertisol pélico	70.9	0.26
Total	26988.7	100.00

Phaeozems (H): Con mólico pero sin acumulación de carbonatos ni sulfatos en los horizontes profundos. Perfil A-B-C ó A-C. Ph. Háplico Ph. Luvico. Estas unidades de suelo muestran una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y nutriente. En México son abundantes, y se utilizan en diferentes actividades dependiendo de su ubicación, considerando el clima, relieve y algunas características de suelo.

Uso potencial de los Phaeozems: Por las características de este tipo de suelos, esta unidad se considera apta para la agricultura de temporal y riego, si se localiza en lugares con pendiente no mayor del 15 %. Esta es una de las unidades con aptitud para desarrollo urbano y asentamientos humanos; no presenta ninguna restricción para este uso. Dentro de la unidad Phaeozem se encuentran terrenos profundos, si se ubican en terrenos planos, en tal caso se usan para agricultura de riego o de temporal, y presentan una buena productividad. También existen suelos poco profundos, como aquellos que se encuentran en laderas, presentando rendimientos más bajos, además de ser susceptibles a la erosión con mucha facilidad. También son una excelente opción para establecer pastos como apoyo a la ganadería

Planosoles (W): Con hidromorfía superficial, en el horizonte E; límite E / Bt con cambio textural brusco. Perfil A-Eg-Btg-Bt-C. Planosoles con permafrost, dentro de una profundidad de 200 cm a partir de la superficie. El término Planosol deriva del vocablo latino *planus* que significa llano, haciendo alusión a su presencia en zonas llanas, estacionalmente inundadas. Se caracterizan por un horizonte aluvial degradado que se encuentra sobre un denso subsuelo. El material original lo constituyen depósitos

aluviales o coluviales arcillosos. Se asocian a terrenos llanos, que pueden inundarse de acuerdo a la estación del año, existen en regiones subtropicales, templadas, semiáridas y sub-húmedas con vegetación de bosque claro o pradera.

Uso potencial de los Planosoles: El perfil es de tipo AEBC. La destrucción, o traslado de arcilla producen un horizonte blanqueado y de textura gruesa por encima de uno más fino. El impedimento a la circulación del agua genera propiedades de poca oxigenación en el horizonte blanqueado. En las regiones de veranos cálidos se usan para cultivo de arroz inundados. En las zonas secas se utilizan para plantas forrajeras o pastizales extensivos. Muchos no se usan con fines agrícolas. Los Planosoles se caracterizan por presentar una capa sub-superficial (después de la superficial la cual varía en espesor), más gruesa compuesta de un material claro por lo general menos arcilloso que las capas entre las que se encuentra.

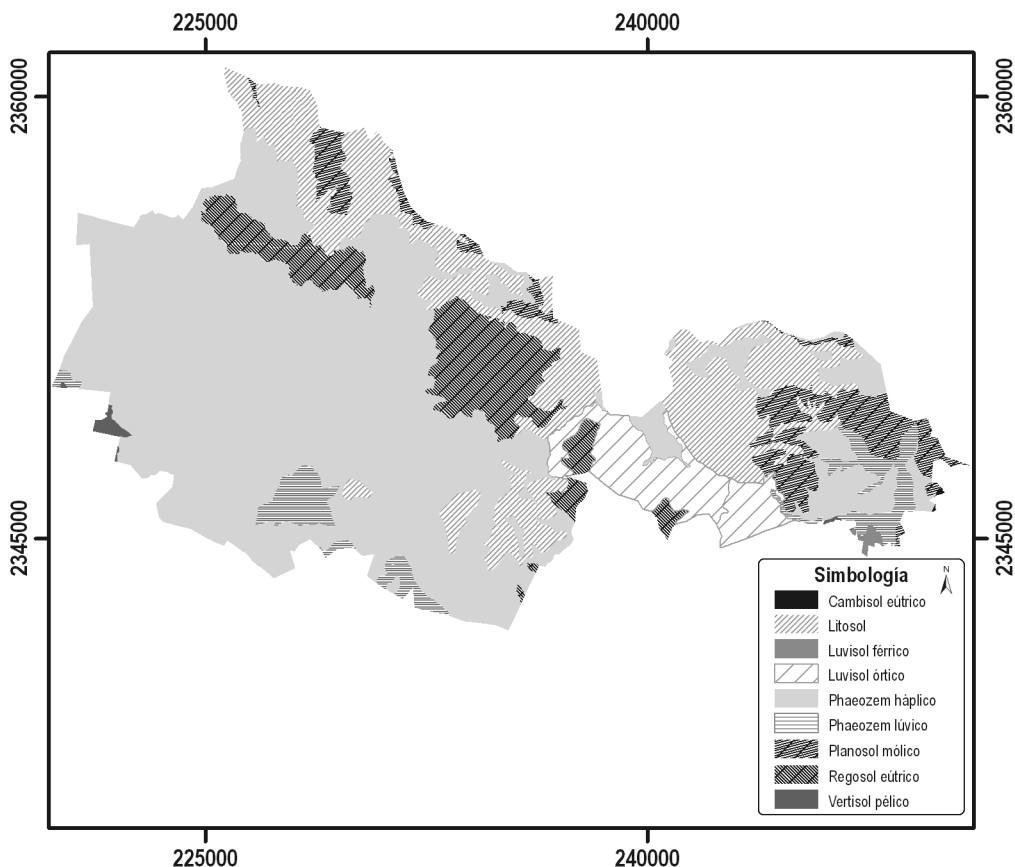


Figura 5.5. Edafología del ANP Sierra de Lobos en León, Guanajuato.

Este material es poco deseable porque presenta características de poca fertilidad y pH ácido, que en ciertos casos limita el paso de las raíces. En el siguiente estrato, debajo de la capa mencionada, se presenta un subsuelo muy arcilloso e impermeable, o bien roca o tepetate, también impermeables.

Aun con las limitaciones que presenta este suelo, se utiliza para actividades agropecuarias. Son muy susceptibles a la erosión, sobre todo aquellas capas superficiales que están sobre las capas de arcilla o tepetate impermeable.

Litosoles (I): Los Litosoles, también conocidos como “Leptosoles” (de acuerdo con la WRB, FAO-ISRIC-IUSS, 2006) son suelos de poco desarrollo que carecen de horizontes diagnóstico sub-superficiales y que poseen un contacto lítico a 30 cm o menos de profundidad, por encima del cual ocurre un horizonte diagnóstico superficial melánico u ócrico. Si el horizonte A es melánico, su espesor es mayor de 10 cm (por definición) y su color es negro o pardo muy oscuro, a veces con un matiz ligeramente rojizo (Artigas, 1985). Si el horizonte A es ócrico, ello se debe a que su espesor es menor de 10 cm y/o su color es de pureza (“value”) o intensidad (“chroma”) muy altos, 3,5 o más en húmedo. El color es, en estos casos, de tonalidad francamente parda a pardo rojiza oscura, por ejemplo 5 YR o 7,5 YR 3-5/3-4. Los Litosoles muy superficiales (menos de 10 cm aproximadamente) son casi siempre de colores rojizos, por lo cual el horizonte A es en tales casos ócrico por espesor y por color a la vez (Puentes, 1983).

Uso potencial de los Litosoles: Son suelos poco profundos sobre roca pura, y muy complejos. En la mayoría de los casos presentan horizontes superficiales que han sido limitados en su crecimiento a causa de una severa erosión laminar, o sea que la erosión ocurre en laminas y no en forma de cárcavas. Las texturas varían de gruesa, arenas y gravas hasta muy pedregosos sobre la roca dura. El uso potencial es muy pobre de bajo rendimiento. En algunos lugares muy pedregosos por la gran cantidad de piedras reduce la erosión, sin embargo, se pueden generar buenos rendimientos si se siembra por mata utilizando un chuzo o coa. Estos suelos no son aptos para la agricultura debido a que prácticamente la capa de suelo es muy delgada o no existe; el uso de estos suelos debe ser forestal. Para desarrollos urbanos se tiene como restricción el bajo potencial de excavación que presentan, así como la pendiente del terreno donde se encuentran generalmente. La aptitud natural de estos suelos es forestal, aunque también pueden desarrollarse pastizales de buena calidad siempre y cuando se practiquen acciones de conservación de suelo y agua.

Regosoles (R): Sobre materiales originales sueltos (o con roca dura a más de 30 cm). Muy baja evolución. Sólo con: ócrico o úmbrico. (Excluir: fluvisoles, gleysoles, andosoles, vertisoles y solonchaks). Perfil A-C. R. eutrítico. Suelos de baja evolución condicionados por la topografía. Una característica es que no presentan capas distintivas. En general son suelos con un color considerado como claro. Se localizan en terrenos de playas, dunas (arenales de desierto), y en mayor o menor grado, en laderas de las sierras, muchas veces en presencia de Litosoles y de roca o tepetate superficiales.

Uso potencial de los Regosoles: El uso agropecuario y forestal puede ser limitado o determinado principalmente por su profundidad y pedregosidad, lo cual se relaciona con una fertilidad variable. Si se emplean en agricultura estos suelos tienen como restricción la fijación de fósforo y la probable presencia de un horizonte “gley” producto de la acumulación de agua y de un drenaje deficiente del suelo. El uso de estos suelos en desarrollos urbanos no tiene restricciones.

Luvisoles (L): Saturados en el Bt. En cualquier clima excluidos los tropicales y subtropicales. Otros suelos con un horizonte B árgico que tiene una capacidad de cambio de 24 cmol (+) Kg⁻¹ de arcilla o más, en todas partes, y un grado de saturación (por NH₄OAc) del 50% como mínimo, en la totalidad del horizonte B, hasta una profundidad de 125 cm.

Uso potencial de los Luvisoles: Los Luvisoles son suelos con altas restricciones para la agricultura, debido a que son materiales de baja fertilidad, con alta permeabilidad y son susceptibles a la erosión hídrica. En estos suelos se deben buscar alternativas de manejo y definir su uso potencial en el sector agropecuario y forestal. Para asentamientos humanos se considera que éstos no son aptos, debido a que el material que los forma es granular y fácilmente se pueden presentar socavaciones (erosionarse) que ponen en riesgo las construcciones.

Vertisoles (V): Alto contenido en arcillas, desarrollan abundantes grietas muy anchas (>1 cm de diámetro) y profundas (hasta de 50 cm). V. pélico.

Uso potencial de los Vertisoles: Se caracterizan por presentar grietas anchas y profundas que se observan en la época de sequía. Son pegajosos cuando están húmedos, y muy duros cuando están secos. Ocasionalmente son salinos. En general son los más utilizados en la agricultura. Se consideran como suelos fértiles, sin embargo, presentan problemas para su manejo debido a su dureza, además pueden presentar problemas de inundación y drenaje. Cuando tienen pastizales son muy adecuados para la actividad pecuaria. Presentan una baja susceptibilidad a la erosión. Estos suelos son aptos para la agricultura de riego y temporal, presentan como limitante la dificultad para la labranza si están totalmente secos, por esto es más recomendable someterlos a riego. Por lo que son más recomendables para otros usos como son el agrícola y el pecuario, o bien como pastizales y bosques silvestres. Éstos últimos no necesariamente implican uso forestal.

Cambisoles (B): Suelos con cámbico. Sólo con úmbrico u ócrico, también mólico pero entonces el cámbico estará sin saturar. (Excluir a: vertisoles, andosoles, gleysoles, solonchaks). Perfil A-Bw-C (ó R). C. eutrítico. Suelos típicamente de clima mediterráneo húmedo (con estación seca intensa).

Uso potencial de los Cambisoles: Si se emplean en agricultura estos suelos tienen como restricción la fijación de fósforo y la probable presencia de un horizonte “gley” producto de la acumulación de agua y de un drenaje deficiente del suelo. El uso de estos suelos en desarrollos urbanos no tiene restricciones.

En resumen se puede mencionar que las áreas con suelos representados por la unidad Planosoles son más susceptibles al proceso de erosión (Clase II, Moderada) que los clasificados como Feozems (Clase I, Ligera); y en menor importancia por su superficie los Regosoles (Clases I, II y III, Ligera Moderada y alta, respectivamente). Esta clasificación considera la composición mecánica del suelo (porcentaje de arenas y arcillas, principalmente (FAO-UNESCO, 1980). Lo anterior tiene relevancia en el sentido de que aquellos sitios con unidades de suelo de Planosoles y Regosoles con Clase de erodabilidad II y III con uso agrícola y con pendientes mayores a 15% serán los sitios potencialmente con mayor riesgo de degradación física, química y biológica (FAO, 1980).

Uso actual del suelo

Análisis de Cambio de Uso de suelo y vegetación.- El cambio de uso de suelo en un período de 37 años para el área de estudio, se presenta en el Cuadro 5.2. En éste se enlistan las superficies y porcentajes que se presentaron para los años 1970 y 2007 en cada una de las categorías asignadas y la tasa de disminución o incremento de la superficie dependiendo del uso.

La información de la vegetación utilizada en este trabajo se presentó en formato digital del programa ArcGIS® 9.2 Primeramente se identificaron los polígonos con los tipos de vegetación y el uso del suelo en el año de 1970, donde se identificaron por ejemplo bosque de pino, pastizal o agricultura.

También se obtuvo una imagen digital de la fotografía aérea generada en el año 2007, con los mismos temas. En cada uno de los diferentes usos del suelo o vegetación, se calculó el área total ocupada dentro del ANP *Sierra de Lobos*.

El área comprendida entre el ANP *Sierra de Lobos*, municipio de León y la parte alta de las cuencas de La Patiña y El Palote, es de 22,710 hectáreas, en las cuales se identificaron ocho variantes en el uso de suelo. Estas variantes que ocuparon el suelo en el intervalo de tiempo considerado, se pueden agrupar en las siguientes: bosque de encino, matorral, pastizales y uso agrícola de riego y temporal, cuerpos de agua (bordos) y suelo sin cobertura vegetal. Es necesario mencionar este dato para tener una idea de las superficies que ocupan actualmente las diferentes actividades en el uso del suelo (Cuadro 5.2).

Cuadro 5.2. Distribución superficial del uso de suelo y vegetación para 1970 y 2007 en el área de estudio entre el Municipio de León, Guanajuato y el ANP *Sierra de Lobos*. El campo de cambio es el número de hectáreas que incrementaron o disminuyeron (-) cada categoría y el campo de tasa anual es el incremento o disminución en ha año⁻¹ para el periodo estudiado.

Uso de suelo y vegetación	Superficie				Cambio de uso de suelo	Tasa de cambio
	1970		2007		1970-2007	
	ha	%	ha	%	ha	ha año ⁻¹
Área agrícola	5 525	24.3	2 395	10.5	-3130	-84.6
Bosque de encino	4 827	21.3	4 770	21.0	-56	-1.5
Cuerpo de agua	22	0.1	132	0.6	110	5.0
Matorral	7 768	34.2	8 170	36.0	402	10.9
Pastizal inducido	3 660	16.1	6 189	27.3	2530	68.4
Pastizal natural	575	3.0	8 24	3.6	149	4.0
Zona urbana			80	0.4	80	2.1
Total	22 710	100.0	22 710	100.0		

En los valores que se presentan en el Cuadro 5.2, se observa que hay tres categorías de uso predominantes por su importancia en superficie; el matorral que varió de las 7,768 hectáreas que había en 1970 incrementándose ligeramente hasta las 8,170 a una tasa de cambio del 10.9 ha por año. De este tipo de vegetación se tiene una superficie importante en el Área Protegida como son los matorrales inerme y sub-inerme, sin embargo, el porcentaje de la superficie cubierta por estos arbustos en la zona se ha incrementado del año 1970 al año 2007. En 1970 los matorrales cubrían un 34.2% de la superficie de la sierra y para el año 2007 aumentó hasta un 36.0%. Este incremento significa que es posible que se haya dejado de hacer otra actividad, como la agricultura o se cortaron árboles, que posiblemente afectó los otros procesos que ocurren en la cuenca como la recarga del manto acuífero o la pérdida de suelo por erosión hídrica (Bonilla *et al.*, 2010).

En 1970 se manejaba una superficie de 5,525 hectáreas con uso agrícola, ocupando el 24.3% de la superficie, sin embargo, para el año 2007 los productores, por alguna razón, dejaron de sembrar 3,130 hectáreas, sin embargo, estas tierras fueron ocupadas por pastos nativos e inducidos.

Con los datos obtenidos con este estudio, se observó que la superficie de uso pecuario se incremento del 16.1 al 27.3% al ser utilizada para la siembra de pastos. Esto significa que el uso pecuario extensivo aumentó de 3,660 hectáreas que había en el año 1970 a una superficie de 6,189 hectáreas para el año 2007. La mayoría de los suelos en esta zona tienen un alto potencial de erosionarse y una de las mejores opciones de uso es el de cultivos con una cobertura completa como los pastos de tal forma que éstos protejan el suelo del impacto de las gotas de lluvia y el arrastre de las partículas por los escurrimientos del agua.

La superficie de bosques existentes se han mantenido, sobre todo el de encino, ocupando una superficie de 4,800 hectáreas en promedio, considerando que el bosque de esta especie de árboles tiene una capacidad de coexistir con una gran variedad de especies, de aquí su importancia en relación a la conservación del suelo (Vázquez *et al.*, 2004). De acuerdo al tiempo transcurrido entre el año 1970 y el año 2007 la superficie sufrió una reducción de 56 hectáreas (Cuadro 5.2; Figuras 5.6 y 5.7). Sin embargo, el impacto de las actividades humanas en el tiempo y el clima son los principales factores que inciden en el deterioro de los recursos naturales, debido al cambio en el porcentaje de cobertura vegetal, combinado con la textura y la humedad del suelo, son la fórmula perfecta para que el suelo sufra un deterioro de gran importancia ecológica y económica (Pelke *et al.*, 2002).

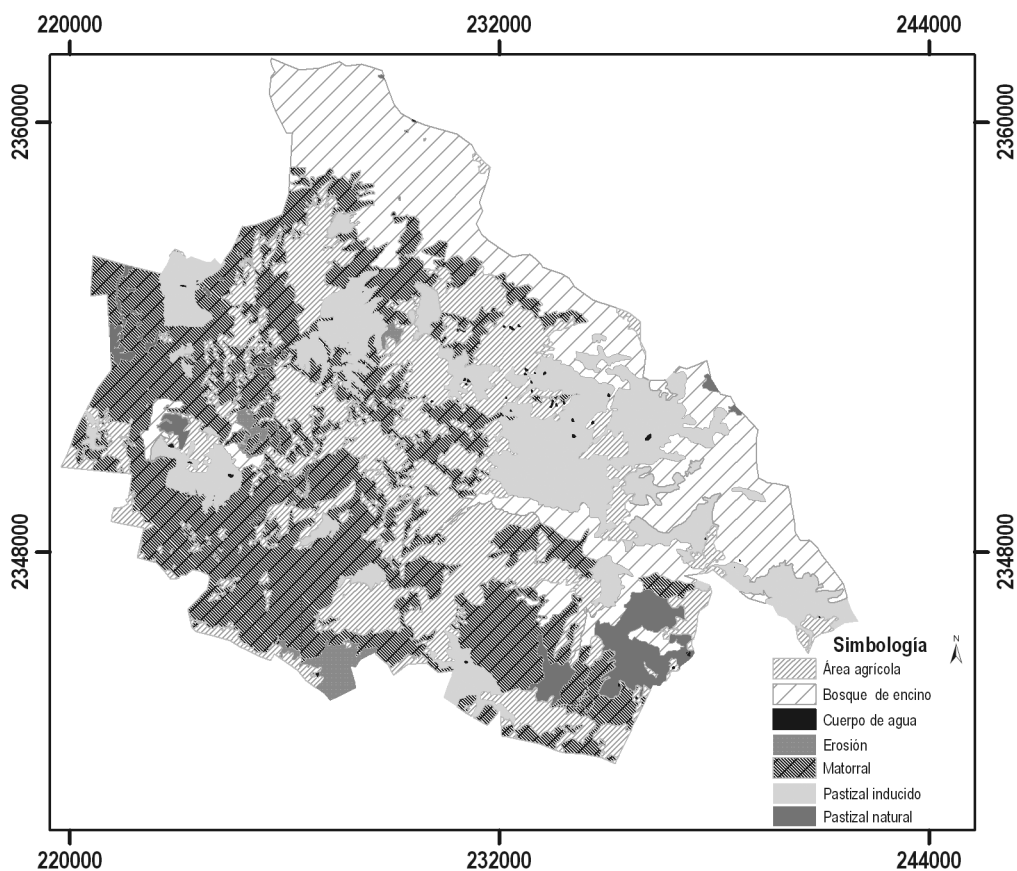


Figura 5.6. Distribución de la vegetación y uso de suelo de 1970-71 en el área de estudio.

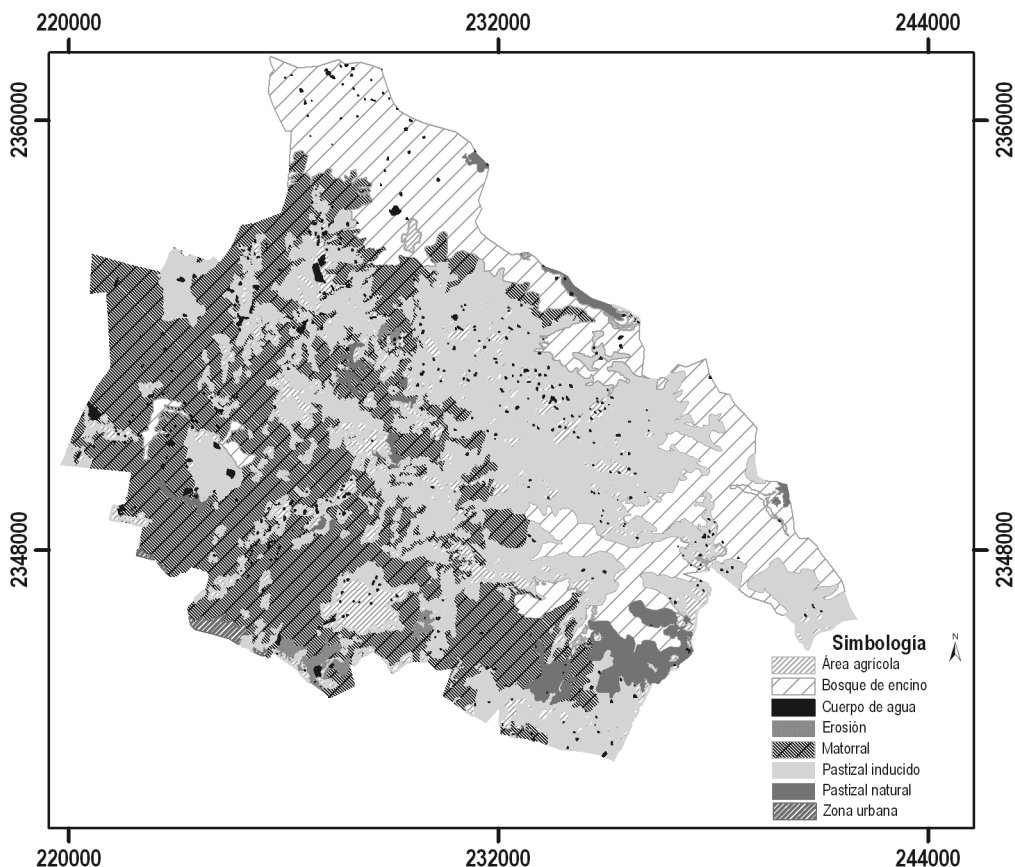


Figura 5.7. Distribución de la vegetación y uso de suelo de 2007 en el área de estudio.

Topografía del área de estudio

Al igual que las unidades de suelo, la topografía tiene un papel relevante en la planeación de un uso sustentable del recurso y además de la definición de un uso responsable de los suelos presentes en el área de estudio (APA, 2000). La Figura 5.8 muestra la topografía en porcentajes de pendiente que van desde 0% hasta > 40%. Por lo general, los cambios de pendiente se describen como porcentaje de inclinación, proveyendo así, un lenguaje uniforme para el entendimiento de la topografía.

En el presente trabajo se presentan los datos de la topografía de los suelos descritos para el estudio que se realizó en la zona de la *Sierra de Lobos*. En este mapa digital se observa que predominan los suelos con pendientes entre 9% y 25%, así como pendientes mayores al 40% (topografía de montaña). En menor superficie están los terrenos con pendientes entre 1 y 9% donde se desarrollan actividades de agricultura y siembra de algunos cereales y hortalizas.

Análisis de pendientes. La importancia del análisis de la pendiente del suelo radica en que el grado y longitud varía de manera espacial en el terreno y esto conlleva a introducir un aspecto de incertidumbre en la cuantificación y predicción del proceso erosivo (Wang *et al.*, 2002; Descroix *et al.*, 2008). La pendiente es uno de los factores determinantes en el proceso de erosión debido a la influencia sobre la velocidad de movimiento superficial del agua que transporta los sedimentos acarreados de la parte más alta hasta la parte más baja. Los suelos con pendientes altas pierden fácilmente por la erosión los elementos finos, dejándolos desprovistos de arcillas y materia orgánica. La topografía del terreno tiene una gran importancia para definir el potencial de degradación física, y seleccionar el tipo de obra de conservación de agua y suelo que se debe utilizar (Nyssen *et al.*, 2000). También permite ubicarlas en el plano correspondiente con datos digitalizados. Se realizó un análisis utilizando el modelo digital de elevaciones, se clasificaron en rangos que van de 6 a 10%, de 10 a 15%, de 15 a 25% y de 25 a 40%, de acuerdo con el manual de conservación de suelos y del agua del Colegio de Postgraduados (Anaya *et al.*, 1977).

Dependiendo del grado de la pendiente del terreno y su longitud, mayor o menor será la erosión del suelo (Figueroa *et al.*, 1991; Liu *et al.*, 1994). Las áreas con pendientes mayores presentan más problemas de erosión, y un menor potencial de uso agrícola (Pierce y Lal, 1994). En parte esto es debido a la mayor dificultad o a la imposibilidad de la labranza mecánica o al transporte en el campo, en estas pendientes. La labranza en estos casos puede además ser limitada por la presencia de suelos en los que las cárcavas impiden el uso de maquinaria agrícola.

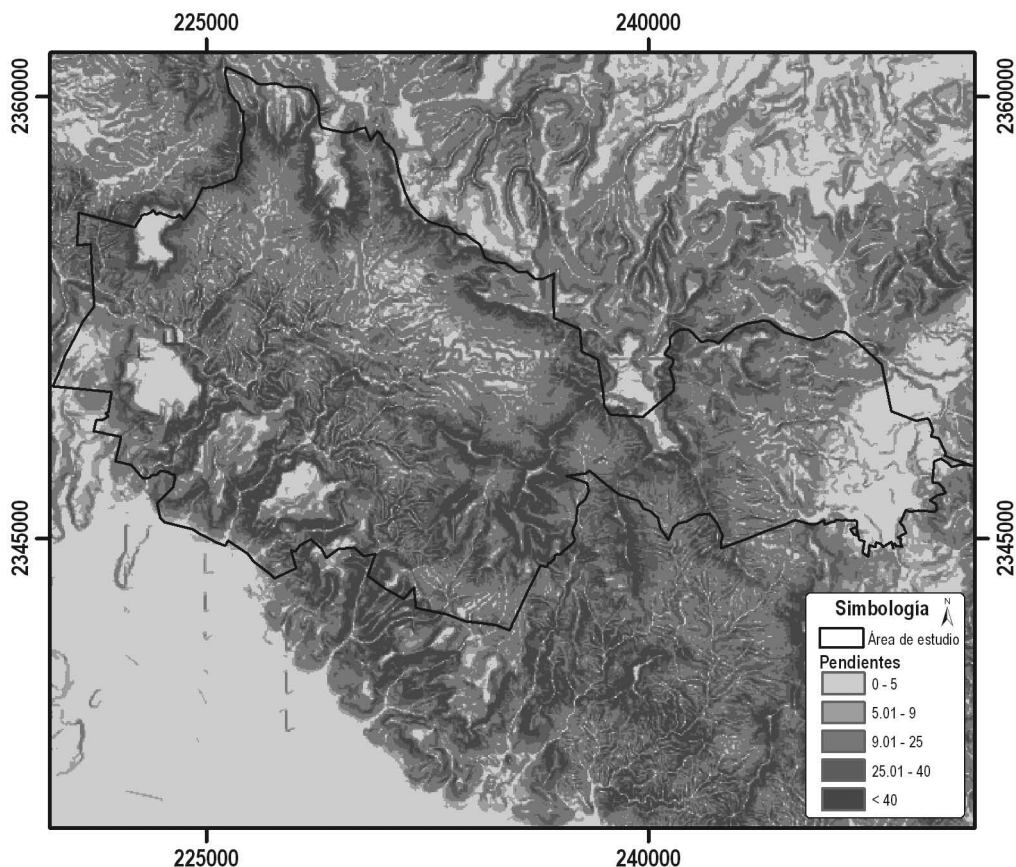


Figura 5.8. Mapa de pendientes en la zona de estudio del ANP *Sierra de Lobos* en el municipio de León, Guanajuato.

Prácticas de manejo y conservación del suelo

Las prácticas de manejo y conservación del suelo son actividades alternativas relacionadas con el cuidado y recuperación de los recursos naturales, enfocados a mejorar la velocidad de infiltración del agua, evitar que se pierda por arrastre con los escurrimientos y se disminuya la erosión del suelo. Las prácticas que se recomiendan a continuación están relacionadas con la labranza de conservación, manejo de residuos y trazo de estructuras para la siembra de cultivos (Cuadro 5.3), y tienen como objetivo controlar el escurrimiento superficial y la pérdida de suelo en laderas, disminuir la producción de sedimentos en las áreas de cultivo, conservar la humedad y lograr una mejor utilización de los terrenos con pendientes que ponen en peligro la estabilidad estructural del suelo.

Terrazas de base ancha: son cortes y rellenos en el terreno dependiendo de la pendiente para formar terrazas las cuales quedan entre los bordos de tierra, construidos en sentido perpendicular a la pendiente dominante del terreno. En estas estructuras se pueden sembrar perfectamente cultivos agrícolas, forrajes o hacer planes de reforestación (FAO, 1980; FAO-UNESCO, 1980).

Surcado al contorno: en terrenos con pendientes suaves ($< 10\%$) se pueden trazar surcos siguiendo las curvas de nivel en forma perpendicular a la pendiente natural del terreno. Con este método de siembra es posible la producción de cereales como maíz y trigo. También es posible establecer especies forestales con semilla recolectada en la zona para la producción de planta en charolas a nivel de vivero.

Cultivo en Franjas: se trazan franjas como si fueran camas anchas, en contorno con curvas a nivel perpendiculares a la pendiente. Este método se recomienda para aquellos terrenos con pendientes entre 2 y 15%, se pueden sembrar franjas de cultivos en un arreglo sistemático que consiste en alternar cultivos en surcos (maíz, frijol haba, sorgo, etc.) y de cobertura (avena, cebada, trigo, etc.).

Manejo Integral: consiste en utilizar las estructuras de manejo de suelos dependiendo del tipo de suelo y la pendiente de tal forma que se pueda sembrar en terrazas, surcos en contorno y/o el cultivo en franjas. Sin embargo, es necesario que los cultivos se alternen y se combinen con cultivos forestales o franjas de arbustos o árboles en las orillas y bordos para que funcionen como barreras vivas. En las partes planas sembrar cultivos anuales haciendo rotaciones con leguminosas forrajeras. Estas prácticas permitirán que el productor obtenga cosechas anuales, forrajes para su ganado, paralelamente estará reforestando y a la vez podrá rotar las tierras con cultivos hortícolas donde el terreno y la disposición de agua lo permita. Con este sistema se podrá reducir la erosión tanto hídrica como eólica, y con la interacción de cultivos con diferentes hábitos de crecimiento, permitirá una mayor estabilidad estructural conservando las características físico-químicas del suelo. Por otra parte, al mantener el suelo cubierto se evita la evaporación directa, se mejora la infiltración del agua de lluvia y se mantiene una mayor humedad del suelo lo que permitirá la recarga del acuífero de la zona.

Cuadro 5.3. Prácticas recomendadas para el control de los factores que determinan la degradación física de los recursos naturales en el área de estudio.

USO DEL SUELO	PRACTICA DE CONTROL	OBSERVACIONES
Agrícola temporal	Surcado al contorno	Requiere información para el diseño de la obra
	Labranza de conservación	
	Uso de residuos de cosecha	
	Uso de terrazas	
	Labores de subsoleo	
	Rotación de cultivos	
	Cultivos en fajas	
Pastizales	Control de carga animal	Las practicas vegetativas por su costo de implementación son las más baratas
	Siembra de pastos	
	Control de potreros	
	Exclusión al pastoreo	
Forestal	Presas de control de azolves	
	Cabeceo de cárcavas	
	Estabilización de taludes	
	Zanjas derivadoras de escurrimientos	
	Cortinas rompevientos	
	Acomodo de material vegetal muerto	
	Reforestación	

Fuente: CONAFOR-SEMARNAT, 2007; Shields *et al.*, 2005

CONCLUSIONES

El uso de las imágenes digitalizadas de las cartas de INEGI y fotografía aérea permitió evaluar los variaciones en tiempo y espacio de la vegetación de acuerdo al uso actual del suelo, lo cual es un indicador de cambios en la cobertura vegetal, cambios en la vegetación o bien áreas de suelos con erosión evidente y reciente.

En el año 2007 el matorral, el pastizal inducido, el bosque de encino y el área agrícola son los temas predominantes y de mayor importancia por la superficie que ocupa en el presente distribuyéndose en 20,924 hectáreas, representando un 95% del total de la superficie que cubren la zona estudiada.

La variabilidad en espacio y tiempo del tema cobertura vegetal entre los cuatro temas más importante en cobertura vegetal, para en el año 2007, se observó una relación inversa entre los temas de uso agrícola y uso pecuario, porque cuando se incrementó la superficie con pastos la de uso agrícola se redujo. Lo mismo ocurrió, aunque a una tasa mucho menor, con los usos de suelo con bosque de encino y matorral, el bosque se redujo y el matorral cubrió una mayor superficie.

Las unidades de suelo dominantes del municipio son los Phaeozem y los Litosoles, sin embargo, según los reportes de la literatura son los más susceptibles a la erosión hídrica por tener una textura

media donde predominan, por lo general, las partículas más pequeñas como limos y arcillas las cuales son fácilmente transportadas por los escurrimientos superficiales del agua de lluvia.

Se deben ponderar las dimensiones medias de las cárcavas que se han observado en los recorridos de campo, y proponer proyectos específicos para realizar una estimación del volumen de suelo perdido por efecto de erosión en cárcavas y proponer acciones para evaluar el problema en cada localidad afectada.

LITERATURA CITADA

- Anaya G., M., M. R. Martínez M., A. Trueba C., B. Figueroa S. y O. Fernández M. 1977. Manual de conservación de suelo y del agua. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. De México. pp. 102-110
- American Planning Association (APA). 2000. Topografía e inclinaciones. Los fundamentos de planificación de sitios. pp 117-121.
- Bocco, G., N. Mendoza, y O. R. Masera. 2001. La dinámica del cambio de uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. No. 44. pp. 18-38.
- Bonilla, C. A., J. L. Reyes and A. Magri. 2010. Water erosion prediction using the revised universal soil loss equation (RUSLE) in a GIS farmework, central Chile. Chilean J. of Agricultural Research. 70: 159 – 169.
- Comisión Nacional Forestal – Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (CONAFOR-SEMARNAT). 2007. Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y prácticas. Tercera Edición. Primera re-impresión. SEMARNAT-CONAFOR. México. 298 p.
- Descroix, L., J. L. González B., D. Viramontes, J. Puolenard, E. Anaya, M. Esteves and J. Estrada. 2008. Gully and sheet erosion on subtropical mountain slopes: Their respective roles and the scale effect. CATENA. 72: 325 – 339.
- Ordenamiento Ecológico del Estado de Guanajuato (OEEG). 1999. Informe final del estudio técnico del ordenamiento ecológico del estado de Guanajuato. p. 244
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - Organización para la Educación, la Ciencia y la Cultura de las Naciones Unidas (FAO-UNESCO). 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma, Italia. 86 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - Organización para la Educación, la Ciencia y la Cultura de las Naciones Unidas (FAO-UNESCO). 1990. Mapa mundial de suelo, leyenda revisada. Versión en español, preparada por la sociedad española de la ciencia del suelo. Roma. Italia. 104 p.

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-World Soil Information-International Society of System Science (FAO, ISRIC, ISSS). 2006. World reference base for soil resources. World Soil Resources Reports No. 84. FAO, ISRIC, ISSS. Rome. 1998. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/W8594E/W8594E00.HTM>
- Fernández P., L. F. y A. García N. 2000. Aptitud para diferentes cultivos y especies forestales de los cambisoles de extremadura (España). Área de Edafología y Química Agrícola. Edafología 7(1) 51-59.
- Figueroa S., B., A. Amante O., G. H. Cortés T., J. Pimentel, L., E. S. Osuna C., J. M. Rodríguez O. y F. J. Morales F. 1991. Manual de Predicción de Pérdidas de Suelos por Erosión. Colegio de Postgraduados. SARH. México. 150 p.
- García G, G., I. March M. y M.A. Castillo S. 2001. Transformación de la vegetación por cambio de uso del suelo en la reserva de la Biósfera Calakmul, Campeche. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 46. pp. 45-57.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1998. Diseño de una base de datos. Diccionario de datos edafológicos escala 1: 1 000000 (Vectorial). Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 4.
- Liu, Y., M. A. Nearing, and L. M. Risse. 1994. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes. Transactions of the ASAE. 37: 1835 – 1840.
- Nyssen, J., J. Poesen, M. Haile, J. Moeyersons and J. Deckers. 2000. Tillage erosion on slopes with soil conservations structures in the Ethiopian highlands. Soil & Tillage Research. 57: 115 – 127.
- Peña, J., R. M. Poveda, A. Bonet, J. Bellot y A. Escarré. 2005. Cartografía de las coberturas y usos del suelo de la Marina Baixa (Alicante) para 1956, 1978 y 2000. Instituto Universitario de Ecología. Universidad de Alicante. Investigaciones Geográficas. ISSN: 0213-4619. No. 37. pp. 93-107.
- Pielke, R. A. R. L. Walko, R. T. Steyaert, P. L. Vidale, G. L. Liston, W. A. Lyons and T. N. Chase. 1998. The influence of anthropogenic landscape changes on weather in South Florida, Mon. Wea. Rev. 127: 1663-1673.
- Pierce, F. J. and R. Lal. 1994. Monitoring the impact of soil erosion on crop productivity. Chapter 10. pp 235 – 263. Soil Erosion Research Methods. Second Edition. Soil & Water Conservation Society. & St. Lucie Press. USA.
- Plan Estatal de Ordenamiento Territorial de Guanajuato. Documento Base. 2000. Diagnóstico del sistema territorial. 167 p.
- Porta C. y A López. 2003. Edafología: Para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Mundi-Prensa. España. pp. 571-582.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1977b. Manual de conservación del suelo y del agua. Colegio de Post graduados. Chapingo, México. 584.p.

- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1977a. Clasificación de la Capacidad Uso de la Tierra segunda edición. Ed. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México. 18 p.
- Shields, F. D., S. M. Dabney, E. J. Langendoen and D. M. Temple. 2005. Control of gully erosion using stiff grasses. *International J. of Sediment Research*. 20: 319 – 332.
- Vazquéz, S. L., J. C Tamarit U. y J. Quintanar O. 2004. Caracterización de la declinación de bosque de encino en “Sierra de Lobos”, Guanajuato, México. *Polibotánica*, No. 17, pp. 1-14.
- Wang, G., S. Fang, S. Shinkareva, G. Gertner and A. Anderson. 2002. Spatial uncertainty in prediction of the topographical factor for the Revised universal soil loss Equation (RUSLE). *Transactions of the ASAE*. 45: 109 – 118.
- Zaragoza M., C. 2007. Actualización del uso del suelo en el Distrito de Desarrollo Rural 003 León, Guanajuato. Tesis de maestría en Ciencias en Protección y Conservación Ambiental. Universidad Iberoamericana. León, Guanajuato, México. P. 75.

ANEXOS

Cuadro de la relación del material geológico y las unidades de suelos

UNIDAD DE SUELOS	SUBSTRATO GEOLÓGICO
Vertisol	Aluviones del Cuaternario
	Rocas ígneas extrusivas ácidas del Terciario y Cuaternario.
Phaeozem	Rocas ígneas extrusivas ácidas del Terciario y Cuaternario.
	Rocas sedimentarias con base en Conglomerados del Terciario.
	Complejo ultrabásico de rocas ígneas intrusivas.
Luvisol	Rocas ígneas extrusivas ácidas del Terciario.
	Rocas volcano-sedimentarias del Terciario.
	Rocas del Cretácico.
	Rocas sedimentarias calizas.
Planosol	Rocas ígneas extrusivas ácidas del Terciario.
Litosol	Rocas ígneas extrusivas ácidas del Terciario y Cuaternario.
	Rocas sedimentarias caliza.
Rendzina	Rocas ígneas extrusivas ácidas del Terciario.
Xerosol	Aluviones del Cuaternario.
	Rocas ígneas extrusivas ácidas del Terciario.
Cambisol	Material ígneo extrusivo basáltico.
Castañozem	Aluviones del Cuaternario, mezclados con rocas vulcano sedimentarias
Regosol	Rocas ígneas extrusivas del terciario formadas de basalto

Fuente: OEEG (1999). Informe final del estudio técnico del ordenamiento ecológico del estado de Guanajuato.



Luis M. Valenzuela Núñez

Ramón Trucíos Caciano

Jesús A. Muñoz Villalobos

José Luís González Barrios

Rosario Terrones Rincón

CAPÍTULO VI

**DINÁMICA Y APROVECHAMIENTO
DE LOS RECURSOS FORESTALES
EN EL ÁREA COMÚN
SIERRA DE LOBOS - LEÓN,
GUANAJUATO**

INTRODUCCIÓN

La presión que ejercen las actividades antropogénicas sobre los recursos naturales causan desequilibrio ecológico en la mayoría de los ecosistemas lo que se hace evidente en la disminución de la cubierta vegetal y la erosión del suelo; por ello, es necesario el planteamiento de acciones integrales enfocadas a la protección, conservación y restauración de los recursos forestales en las reservas naturales (Challenger, 1998; CEMDA, 2002).

En el estado de Guanajuato, como en todo el país, existe gran diversidad de tipos de suelo que se aprovechan en actividades agrícolas, pecuarias, forestales y las asociadas con el desarrollo urbano, siendo las dos primeras las que propician el deterioro de la cubierta vegetal, principalmente en las áreas donde no son reguladas (García *et al.*, 2000; Velázquez *et al.*, 2002). A este respecto, el área natural protegida (ANP) *Sierra de Lobos*, particularmente la vertiente sur, proporciona en gran medida los servicios ambientales (sobre todo hídricos) al área conurbada de la ciudad de León, Guanajuato.

Los cambios en el uso del suelo y los aprovechamientos forestales son las causas principales de la intensificación de los procesos erosivos y de la disminución de la cubierta vegetal. El más reciente estudio socio económico en el área, indica que la actividad pecuaria es el factor que afecta con mayor intensidad los recursos forestales debido al incremento en la superficie de pastizales inducidos.

La información cartográfica desarrollada por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) en 1970 muestra con precisión el estado de los recursos suelo y vegetación en esa época, que al compararla con información reciente (2007) permite cuantificar los cambios en uso del suelo y en la cubierta vegetal, así como las áreas específicas donde esto ocurre con más intensidad.

En el presente capítulo se presentan de manera detallada los tipos de vegetación existentes en el área de estudio, el análisis de los cambios ocurridos en un período de 37 años (1970 – 2007) y las causas que los originaron. De manera general se mencionan las especies nativas más importantes que podrían utilizarse para reforestación y una propuesta general del manejo de los recursos forestales existentes.

Los objetivos de este trabajo fueron: 1) Determinar la dinámica de los recursos forestales en el ANP *Sierra de Lobos*, León, Guanajuato. 2) Identificar las actividades que originaron los cambios más significativos en el uso de los recursos forestales y 3) Proponer acciones de manejo integral enfocadas a la preservación de los recursos forestales y la mitigación del daño causado por la presión antrópica.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El ANP *Sierra de Lobos* se localiza al noroeste del municipio de León, Guanajuato, entre las coordenadas extremas (x,y) UTM WGS84 (218000, 2380000) esquina noroeste y (263000, 2342000) esquina sureste. El área de estudio se delimitó a partir de las 571 coordenadas contenidas en el decreto gubernativo No. 77 de fecha 4 de noviembre de 1997 (SANPEG, 1997), mediante el cual se declaró la *Sierra de Lobos*, (ubicada en los municipios de León, San Felipe y Ocampo), como área natural protegida en la categoría de área de uso sustentable. El área de estudio comprende

la superficie común entre el sur del ANP *Sierra de Lobos* y el norte del municipio de León, con superficie de 22,710 ha, en la que se encuentran las subcuencas La Patiña, El Palote, Las Amapolas y Pénjamo-Irapuato-Silao que pertenecen a la Cuenca Lerma –Salamanca (FIRCO 2005a; 2005b), (Figura 6.1).

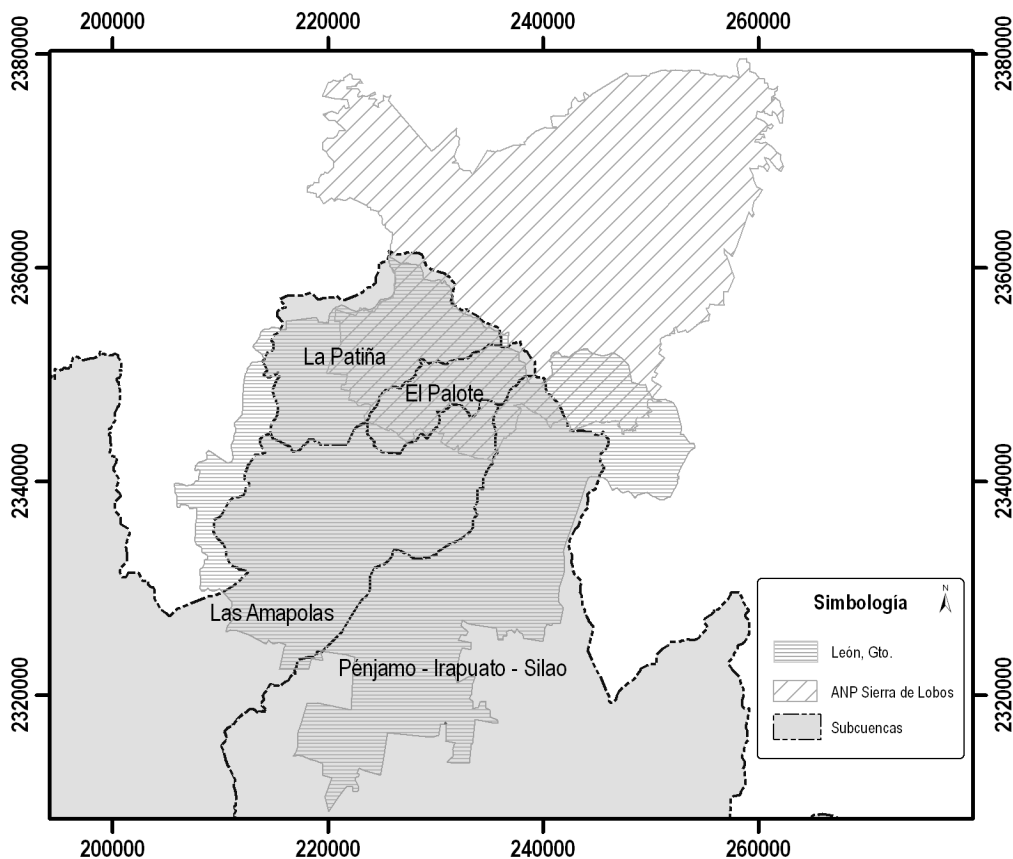


Figura 6.1. Ubicación de la *Sierra de Lobos*, municipio de León, Guanajuato y de las subcuencas Las Amapolas, La Patiña, El palote y Pénjamo-Irapuato-Silao.

La conformación de la base de datos para el estudio se realizó en el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica, Agua y Suelo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias ubicado en el Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (INIFAP CENID–RASPA) en Gómez Palacio, Durango.

El estudio de la dinámica de uso de suelo y vegetación se realizó a partir información cartográfica de 1970 como estado inicial y 2007 como referencia final. La información de 1970 se conformó con fotografías aéreas a color tomadas por el INEGI entre diciembre de 1970 y marzo de 1971 escala 1:25000. Las fotografías se *escanearon* para transformarlas de formato gráfico a digital con resolución de 1200 puntos por pulgada; a cada imagen digital se le asignaron puntos de control para georeferenciarlas con base en la información en fotografía ortorectificada que generó INEGI en

1995. Las fotos georeferenciadas se integraron en un mosaico de imágenes a color de 1970 para el área de estudio (Figura 6.2).

En abril de 2007, se realizó una cobertura con fotografía aérea en la zona norte del municipio de León, Guanajuato y la parte sur del ANP *Sierra de Lobos* (Figura 6.3). Se utilizó una cámara con sensor multiespectral y definición de pixel de 1 m. Posteriormente, se generó el mosaico de imágenes correspondiente al área de estudio que permitió comparar el estado de los recursos forestales en el área de estudio de 1970 y 2007.

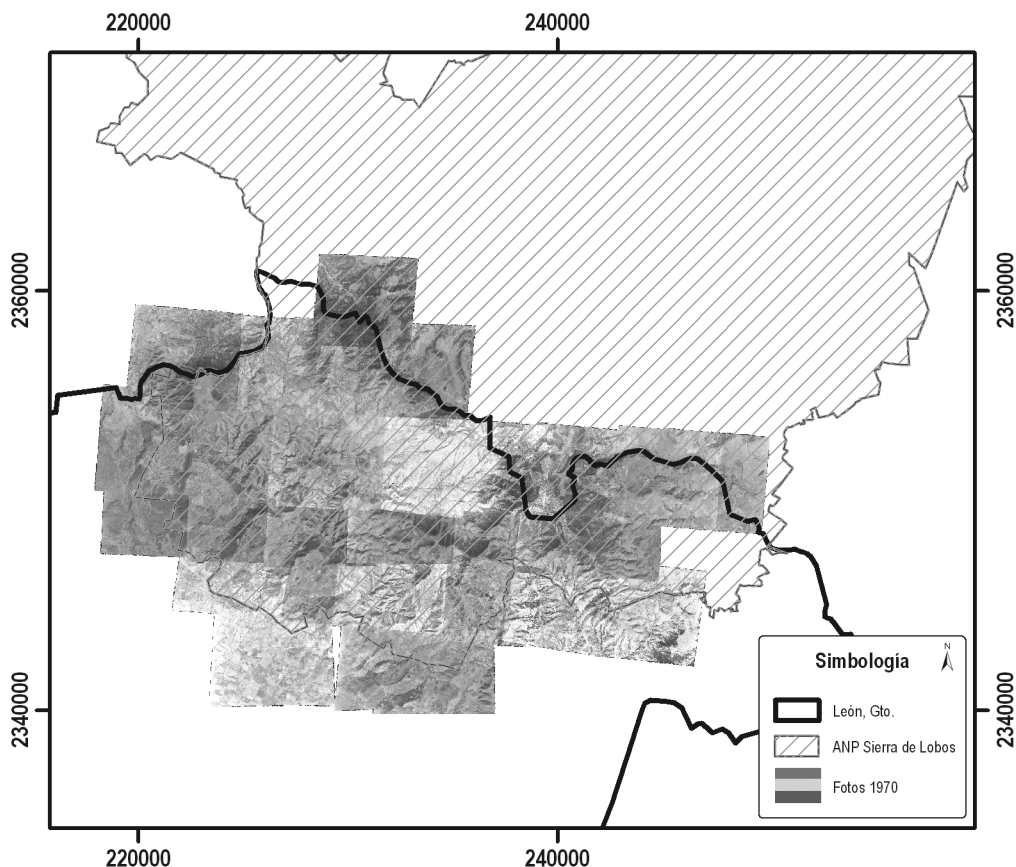


Figura 6.2. Mosaico de fotografía aérea digitalizada de 1970 en el norte del municipio de León, Guanajuato.

Interpretación de la información

Las coberturas se determinaron por medio de interpretación visual o monoscópica de la vegetación o uso de suelo existente a escala de trabajo de 1:5,000. Como apoyo para el análisis, se realizaron combinaciones de bandas (RGB) que permitieron obtener mejor contraste de la imagen para establecer los límites de las coberturas vegetales, lo cual facilitó el proceso de interpretación. Posterior a la interpretación, la información de 1970 se verificó con la carta de uso de suelo y vegetación de la serie I de INEGI a escala 1:50,000 (INEGI, 1974) y se comparó con la imagen de 2007 para cuantificar los cambios en cobertura vegetal y uso de suelo. Se utilizó el método de análisis espacial que identifica las diferencias entre dos fechas para las distintas unidades temáticas en estudio (Gutiérrez y Gould, 2000; Rosete *et al.*, 2008). La proyección utilizada fue Universal Transversa de Mercator (UTM), zona 14, con *datum* WGS84, por su compatibilidad con el *datum* ITRF92 utilizado por INEGI en proyecciones cartográficas y elipsoide Clarke de 1866. El programa utilizado para el análisis descrito fue ArcGIS® versión 9.2.

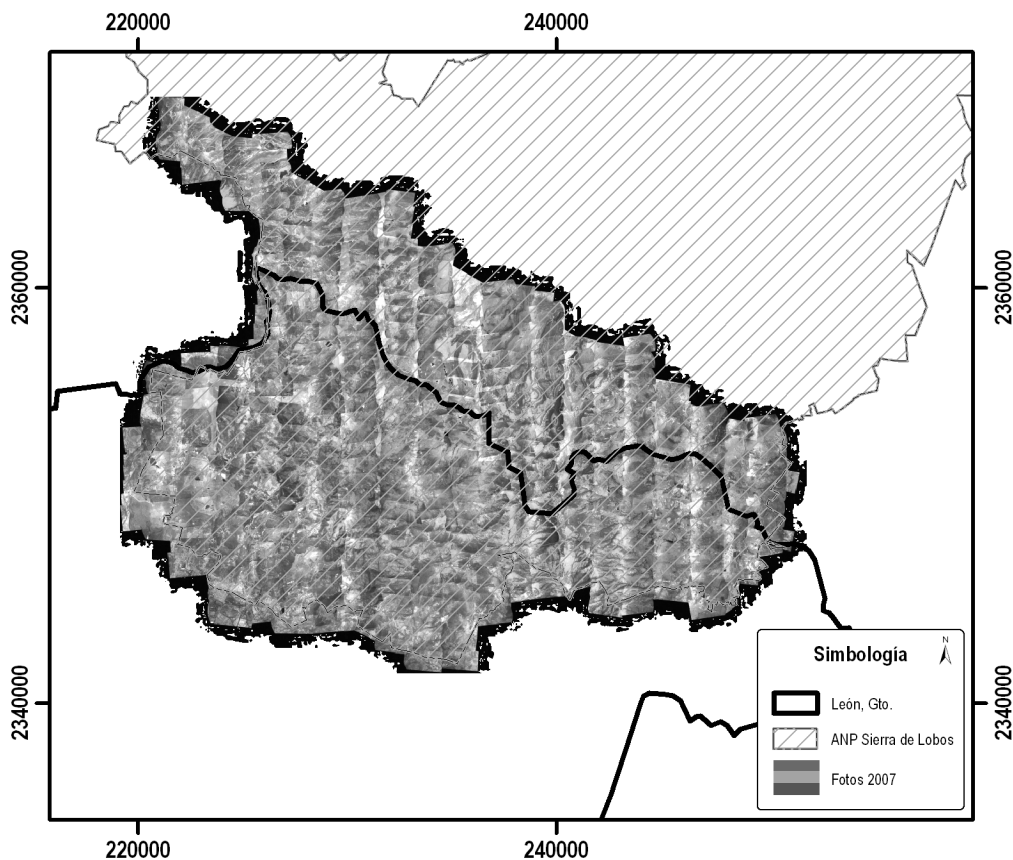


Figura 6.3. Fotografía aérea digital tomada en el año de 2007 en el norte del municipio de León, Guanajuato.

Atributos físicos

Fisiografía.- La fisiografía del área de estudio forma parte de la región denominada Mesa del Centro, hacia el sur comprende una pequeña parte del Eje Neovolcánico. La zona de la *Sierra de Lobos* está integrada por sierras y lomeríos. Hacia Santa Bárbara, se presentan sierras altas con mesetas laterales. En el valle de Moreno existen lomeríos de pie de monte o aislados. En la sierra Cuatralba y las Mesas existe una discontinuidad fisiográfica, encontrándose sierras con valles paralelos. Hacia el sur, se presenta una zona con mesetas lávicas (CEASG, 1998).

Hidrografía.- La zona se encuentra dividida por cuatro cuencas hidrológicas donde existe gran cantidad de arroyos que se extienden a lo largo y ancho de la sierra:

- Hacia el noroeste se encuentra la cuenca de Lagos con superficie de 267.40 km².
- En la parte suroeste, la del río Turbio con 230.84 km².
- En el este la del río Laja con 310.50 km².

- En el centro y norte de la zona se encuentra la de Santa María con 474.56 km².

En la parte noroeste, central y sureste, que corresponde a la zona de la sierra Cuatralba existen arroyos que irrigan y se ramifican drenando toda esta parte. Entre éstos, podemos mencionar los arroyos de Cañón Oscuro, El Zacate, Berbén, El Descanso, El Cantón, Las Tinajas, El Venadito, El Potrillo, Los Tepozanes, Los Cedros, Álamo, Guayameros, Ojo de Agua, Las Colungas, El Pino, Los Lobos, La Reserva, Los Malacates, Las Ardillas, La Cruz, El Chamacuero, San José, San Hilarión, Bernalejo, Las Crucecitas, Santa Gertrudis, La Alberca, Los Pocitos, Las Presitas, El Terrero, Palos Prietos, Juanes, Rodadillos, Las Víboras, Arroyo Grande, Los Tepozanes, Laguna Cercada, Los Palos Prietos, Los Morillos, Argüello, El Rayo, Cieneguita, Palo Alto, Las Cenizas, Los Bancos, El Puerto, San Antonio, El Muerto, Tortuga, Las Codornices, Los Granados, Santa Rosa, La Cardona, Rojas, El Lobo, Tlachiquero, San José de Otates, Rincón Grande, Rincón del Orégano, El Paso Blanco, El Capulín, Las Tinajitas, El Huitlacoche, El Tigre, El Capulín, Los Arcos, La Cueva del Cerro Verde, entre otros. También existen algunas lagunas como la de Los Caballos, y presas como las de San Hilarión y San Martín.

Hacia el sureste, en la zona de Mesas se encuentran los arroyos de Los Afligidos, Escalerilla, Santiago, El Muerto, Saucillo, Guanajuato, Barbosa, El Capulín, Los Alisos, Cirio de San Ignacio, La Campechana, El Salto, San Antonio, Rincón del Burro, La Ladrillera, La Cimarrona, Rincón Verde, De La Manzanilla, Puerto Colorado, Rancho de la Virgen, El Timbal, San Juan de Otates, El Salto, entre otros. Un poco más abajo, fuera de esta zona, se encuentra la Presa de la Manzanilla. Hacia la zona de Valle de Moreno se encuentran los arroyos de Los Arcos, El Jaralillo, El Corralito, Los Altos de Ibarra, El Muerto, El Salto, Golondrinas, El Tecolote, Los Altos, El Cajón, El Sauz, Río Grande, Las Marías, El Cocinero y la Laguna de San Ramón.

En el noreste, en la zona de Santa Bárbara se encuentran los arroyos de El Saucillo, Santo Domingo y El Rosario entre otros.

Microcuencas.- La vertiente sur de la *Sierra de Lobos* comprende la parte alta de cinco microcuencas hidrológicas, El Palote, Las Amapolas, La Patiña, Pénjamo-Irapuato-Silao y Hernández-Álvarez, que a su vez forman parte de las subcuencas Lerma-Salamanca y Laja (FIRCO 2005a, 2005b).

Clima.- Los climas predominantes de acuerdo con la clasificación de Köppen (modificado por García, 1981), son c(w2)(w) el más húmedo con cociente p/t > 55.0 con porcentaje de lluvia invernal < 5; c(w1) intermedio en cuanto a humedad con cociente p/t entre 43.2 y 55.0; c(w0) el más seco con cociente p/t < 43.2. El clima por zona se describe a continuación.

En la zona noroeste C(w2) (w) b i

- | | |
|-------|---|
| C(w2) | Este clima es el más húmedo de los templados subhúmedos con lluvias de verano, cociente p/t. mayor a 55.0 |
| (w) | Con lluvia invernal menor al 5.0% de la lluvia anual. |
| b | Con verano fresco y prolongado con temperatura media del mes más caliente entre 6.5 y 22 °C. |
| i | Isotermal, temperatura estable con oscilación menor a 5 °C. |

En la zona central y sur $C(w1) (w) b$

$C(w1)$ Clima intermedio en cuanto a humedad entre el $C(w2)$ y $C(w0)$, el menos seco y el menos húmedo, con lluvias de verano, cociente p/t entre 43.2 y 55.0.

(w) Con lluvia invernal menor al 5.0 % de la lluvia anual.

b Con un verano fresco y prolongado, con temperatura media del mes más caliente entre 6.5 y 22 °C.

$C(w0)$ El más seco de los templados sub-húmedos con lluvias en verano, con cociente p/t entre 43.2 y 55.0.

En la zona norte y oriente $BS1 K w$

$BS1$ El clima menos seco de los BS, con cociente p/t mayor de 22.9.

K Clima templado con verano cálido, temperatura media anual entre 12 y 18 °C., al del mes más frío entre -3 y 18 °C. y la del mes más caliente, mayor a 18 °C.

w Lluvias de verano: por lo menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el mes más seco, con lluvia invernal entre 5 y 10.2% del total anual.

En la zona sur $(A) C (w0) (w)$

$(A) C$ Clima semicálido, el más cálido de los templados C, con temperatura media anual mayor a 18 °C y la del mes más frío menor a 18 °C.

$(w0)$ El más seco de los templados subhúmedos con lluvias en verano.

(w) Con lluvia invernal menor al 5.0% de la lluvia anual.

En la zona sur $BS1 h w(w)$

$BS1$ El clima menos seco de los BS, con un cociente P/T mayor de 22.9 o sea el más húmedo del clima seco o estepario según la división de los BS.

h Es semi-cálido con invierno fresco, temperatura media anual entre los 18° y los 22° C. y la del mes más frío menor de 18° C.

$w(w)$ Con un régimen de lluvia en verano: por lo menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco, un porcentaje de lluvia invernal menor de 5.0 de la total anual.

Precipitación.- La precipitación pluvial anual en la zona de Santa Bárbara y valle de Moreno es de 600 a 800 mm, sólo en pequeñas áreas hacia el norte y el oriente de esta zona es menor de 600 mm. Para la zona de la sierra Cuatralba y la parte norte de las Mesas, la precipitación pluvial es mayor de 800 mm anuales. En la región sur de la zona de las Mesas es de 600 a 800 mm.

Temperatura.- La temperatura media anual es de 17.1 °C con máxima de 30.5 y mínima de 5.3 °C. La máxima extrema se presenta en primavera-verano y la mínima en invierno (Cuadro 6.1).

Vientos dominantes.- La dirección de los vientos para la zona de estudio se presentan de acuerdo a las estaciones del año: en primavera, verano e invierno provienen del sur y en otoño del oeste, por lo que se considera que los vientos dominantes provienen del sur y los máximos del oeste.

Cuadro 6.1. Temperatura media en el ANP *Sierra de Lobos*, León, Guanajuato.

Periodo	Máxima °C	Mínima °C	Media °C
Primavera	31.0	4.0	16.3
Verano	31.0	6.3	18.3
Otoño	30.5	8.3	18.3
Invierno	29.7	2.7	15.5
Anual	30.5	5.3	17.1

RESULTADOS

Unidades forestales

Las principales unidades o tipos de vegetación existentes en la vertiente sur de la *Sierra de Lobos* se describen a continuación con base en la nomenclatura propuesta por diferentes autores:

Pastizal natural.- Pn, (INEGI, 1974); PZ, (Flores y Gerez, 1994). Se encuentra distribuido en toda el área en forma de manchones de diverso tamaño. En algunos sitios alterna con bosques o matorrales en función de las condiciones edáficas y topográficas. Las especies presentes son: *Bouteloua* sp., *Aristida* sp., *Muhlenbergia* sp., *Microchloa* sp., *Eragrostis* sp. y *Heteropogon* sp. El aprovechamiento que se le da es alimentación de ganado principalmente bovino en pastoreo directo (Figura 6.4).



Figura 6.4. Pastizal natural en el ANP de la Sierra de Lobos, León, Guanajuato.

Pastizal inducido.- Pi, (INEGI, (1974); PA, (Flores y Gerez, 1994). En algunas áreas como en Vergel de la Sierra, los pastizales inducidos han incrementado la superficie a expensas del bosque de encino y se encuentran sometidos a sobrepastoreo por ganado ovino y caprino que han provocado claras señales de deterioro ambiental por pérdida de suelo (formación y crecimiento de cárcavas). En ocasiones, las áreas con pastizal inducido presentan pastos amacollados que fisonómicamente asemejan zacatonales en pequeños manchones. Las especies presentes en este tipo de vegetación son *Lycurus* sp, *Sporobolus* sp, *Stipa* sp, *Tridens* sp, *Bouteloua* sp, *Hilaria* sp. (Figura 6.5).



Figura 6.5. Pastizal inducido en el ANP de la Sierra de Lobos, León, Guanajuato.

Matorral espinoso.- Me, (INEGI, 1974); MX, (Flores y Gerez, 1994). En el área existen dos variantes de esta unidad: la natural, que comprende más de 70% de las especies espinosas originales y la secundaria, que comprende más del 70% de especies espinosas resultantes como consecuencia de diversos procesos de perturbación como son la agricultura y el pastoreo.

Los matorrales espinosos naturales, muestran mayor diversidad específica que los secundarios, dominados por: *Opuntia* sp., *Myrtillocactus* sp., *Acacia* sp. y *Mimosa* sp. Pueden encontrarse hasta 2,330 msnm. Otras especies características de este tipo de matorral, son: *Condalia velutinia*, *Ipomoea murucoides*, *Forestiera* sp. y *Eysenhardtia polystachya* (Figura 6.6).

Los matorrales espinosos secundarios pueden tener diversidades específicas extremadamente bajas con fuerte dominancia de *Acacia* sp. (huizachales) o de *Opuntia* sp. (nopaleras), formando manchones aislados pequeños o extensos. Normalmente se asocian a terrenos de cultivo con bajas pendientes y predominando a menos de 2,300 msnm.

En otros casos, los matorrales espinosos secundarios pueden ser consecuencia de perturbación prolongada por pastoreo en áreas que probablemente tuvieron como tipo de vegetación original el matorral subinerme, presentan mayor diversidad específica que los huizachales y nopaleras. Prueba de lo anterior, es la presencia de elementos propios del matorral subinerme como: *Celtis pallida*, *Forestiera* sp. (lantrisco) y *Jatropha dioica*. Estos matorrales espinosos de origen secundario se presentan principalmente en altitudes menores a 2,300 m.



Figura 6.6. Matorral espinoso en el ANP de la Sierra de Lobos, León, Guanajuato.

Matorral subinerme.- Ms (INEGI, 1974); MX (Flores y Gerez, 1994). Este es el tipo de vegetación con la mayor diversidad específica entre los matorrales, similar con los bosques de encino mejor conservados. Cuenta con más de 30 especies entre arbustivas, arbóreas y herbáceas estacionales de temporada de lluvias. Bajo condiciones de baja perturbación, está dominado fisonómicamente por *Forestiera* sp. (lantrisco), *Celtis pallida* (granjeno), *Eysenhardtia polystachya* (varaduz), *Bursera* sp. (chichote y copalillo) e *Ipomoea murucoides* (casahuate). Presenta además *Opuntia* spp. (nopal), *Lemaireocereus* sp. (pitayos) y *Myrtillocactus geometrizans* (garambullo) como formas conspicuas. Sin embargo, numéricamente dominan algunas arbustivas como la *Montanoa tumontore* (vara blanca) y *Jatropha dioica* (sangregado) (E. Kato, com. pers.).

Se distribuye en la parte media baja de la serranía hasta los 2,300 msnm, aunque en los casos en que representa una transición hacia los bosques de encino sin presencia de chaparral, puede incursionar hasta los 2,500 msnm como se observa en Puerto de la Magdalena y Cerro de los Tenamastes (Figura 6.7).



Figura 6.7. Matorral subinerme en el ANP de la Sierra de Lobos, León, Guanajuato.

Chaparral.- Ch (INEGI, 1974); MX (Flores y Gerez, 1994). Aunque cabría clasificarlo entre los matorrales inermes (CETENAL, 1971), se utilizó esta denominación por ser de mayor precisión. Es el principal matorral transicional entre los espinosos y subinermes y los bosques de encinos, se le encuentra desde 2,300 y hasta 2,650 msnm. No obstante que florísticamente está dominado por diversas especies de encinos como *Quercus microphylla*, *Q. potosina* y *Q. laeta*, cuando se les perturba, suele disminuir la cobertura de ellos, dando lugar a una mayor presencia relativa de *Dasyliirion sp* (sotol) y *Yucca spp* (sin llegar a constituir izotales). Otras especies acompañantes de este tipo de vegetación son el varaduz, casahuate y tepame. En las áreas con pendientes pronunciadas, suele transitar rápidamente hacia bosque de encino, por ejemplo en los bordes superiores de las mesas y en las cañadas de mayor pendiente.

Bosque de *Quercus*.- Rzedowski (1979, 1981); Medina y Rzedowski (1981). De este tipo de vegetación existen dos unidades principales: el bosque de encino y el bosque de encino-pino. En el ANP de la Sierra de Lobos, este tipo de vegetación se presenta en terrenos con régimen de tenencia en pequeña propiedad, que en algunas zonas alcanzan extensiones del orden de miles de hectáreas. Debido al desarrollo de casas de campo, se han estado introduciendo especies exóticas como el eucalipto y la casuarina.

Bosque de encino.- FBL (Q) (INEGI, 1974); BQ (Flores y Gerez, 1994). Esta unidad de vegetación muestra amplia distribución y es el tipo de bosque dominante y característico en la región de estudio, se presenta con diferentes grados de pureza y deterioro. Es altamente probable que las 28 especies de encinos reportados por Flores y Gerez (1994) para el estado de Guanajuato se encuentren en el ANP *Sierra de Lobos*.

Los bosques pueden estar acompañados de pequeños manchones de pastizal y un estrato arbustivo dominado principalmente por *Arctostaphylos pungens* (manzanita). En el estrato arbóreo se puede presentar acompañado de *Arbutus* sp. (madroño). En estos bosques se observan ejemplares que alcanzan hasta 15 m de altura, aunque predominan los de menos de 10 m; las formas de crecimiento varían desde troncos de gran diámetro a la altura del pecho en la Mesa de la Cuatralba, hasta conjuntos de tres a seis ramas hijuelas, indicando que en el pasado sufrieron severa presión de talas. Esta condición es la más frecuente. Las áreas mejor conservadas del bosque presentan manchones aislados de vegetación propia de condiciones de alta humedad, con amplia diversidad de helechos selaginelas y otras formas ecológicamente compatibles en el estrato herbáceo (Figura 6.8).



Figura 6.8. Bosque de encino en el ANP de la *Sierra de Lobos*, León, Guanajuato.

Bosque de encino-pino.- FBL(Q)-FBC(P) (INEGI, 1974); BQ (Flores y Gerez, 1994). Representan una variante del bosque más puro de encino, en la que la dominancia del encino se comparte con *Pinus cembroides* (pinos piñoneros) principalmente. Este tipo de vegetación es más abundante en la región de la sierra de la Cuatralba. (Figura 6.9).



Figura 6.9. Bosque de encino-pino en el ANP de la Sierra de Lobos, León, Guanajuato.

Bosque de pino.- FBC(P) (INEGI, 1974); BC (Flores y Gerez, 1994). Representa otro tipo de bosque con menor extensión que el de encinos, y se concentra principalmente en la sierra de Santa Bárbara, entre 2,300 y 2,550 msnm (Figura 6.10).



Figura 6.10. Bosque de pino en el ANP de la *Sierra de Lobos*, León, Guanajuato.

Cambio de uso del suelo y vegetación

En general, se muestra la superficie y el porcentaje con respecto al total del área de estudio, así como la superficie modificada en el período comprendido entre las dos fechas y su correspondiente porcentaje de cambio. Los datos presentados tomaron valores negativos (si existió una disminución en la superficie) o positivos (si existió un incremento en la misma), y finalmente la tasa de cambio representa el porcentaje que se modificó en cada unidad de vegetación y/o uso de suelo (Cuadro 6.2).

La dinámica en el cambio de uso del suelo en el periodo 1970-2007 (37 años) muestra que la superficie con pastizales, sobre todo los inducidos se incrementó 2,779 ha, mientras que el área dedicada a la agricultura disminuyó en 3,130 ha, lo cual indica que en las tierras de labor abandonadas, se favoreció el desarrollo de vegetación secundaria en forma de pastizales. La superficie con bosque de encino no mostró cambio significativo, mientras que la construcción de obras de captación y el área urbana se incrementaron en 110 y 80 ha, respectivamente. Posiblemente parte del área agrícola cambió a matorral en 402 ha con efecto en la disminución del área erosionada (85 ha) (Cuadro 6.2).

La matriz de cambio de uso de suelo muestra tendencias en la reducción de todos los tipos de vegetación y un aumento considerable de la vegetación con dosel abierto (Cuadro 6.3). La matriz muestra la modificación que se presentó en las superficies de cada una de las unidades forestales, con lo cual se ayudó a identificar la superficie modificada y determinar hacia qué tipo de vegetación fue dicho cambio. Para la determinación de las modificaciones en la cobertura vegetal de 1970 comparándola con la misma cobertura de 2007, las coberturas de base fueron las fotografías a color

tomadas por el INEGI entre diciembre de 1970 y marzo de 1971, asociada a su modificación en los resultados obtenidos para las fotografías aéreas tomadas en 2007.

Los campos donde convergen las dos fechas con el mismo nombre representan las superficies que no se modificaron en el período de estudio; de esta manera, de acuerdo con el Cuadro 6.3, el incremento del pastizal inducido, por ejemplo, fue producto del cambio de superficie ocupada por las áreas agrícolas (2,396 ha), el bosque de encino (422 ha) y el matorral (1,050 ha), en menor grado, los cuerpos de agua (6 ha) y la erosión (1 ha).

En síntesis, se encontró que en los últimos 37 años la mayoría de los tipos de vegetación sufrieron cambios con tendencias de aumento en superficie en las de menor cobertura, como los matorrales, considerados vegetación de transición (Figuras 6.11 y 6.12). Aunque las causas de disturbio a los recursos son varias, destacan las ocasionadas por incendios, sobrepastoreo, cambio de uso de suelo y actividades ilícitas.

Las superficies cubiertas por bosques de encino y pino deben considerarse dentro de zonas de amortiguamiento. Estas son áreas que se encuentran de moderada a fuertemente alteradas por las actividades humanas y de manera particular a causa del desarrollo agropecuario y el uso público. Sin embargo, algunos sitios poseen vegetación en buenas condiciones de conservación, que son punto de arribo de aves migratorias y hábitat de especies terrestres y acuáticas.

Cuadro 6.2. Uso de suelo y vegetación para 1970 y 2007, cambio de uso del suelo y tasa de cambio en el ANP de la Sierra de Lobos, León, Guanajuato.

Uso del suelo y vegetación	1970		2007		CUS	TC
	ha	%	ha	%	ha	ha/año
Área agrícola	5525	24.3	2395	10.5	-3130	-84.6
Bosque de encino	4827	21.3	4770	21.0	-56	-1.5
Cuerpo de agua	22	0.1	132	0.6	+110	+5.0
Erosión	234	1.0	149	0.7	-85	-2.3
Matorral	7768	34.2	8170	36.0	+402	+10.9
Pastizal inducido	3660	16.1	6189	27.3	+2530	+68.4
Pastizal natural	575	3.0	824	3.6	+249	+4.0
Zona urbana			80	0.4	+80	+2.1
Total	22710	100	22710	100		

CUS= Cambio de uso del suelo; TC= Tasa de cambio.

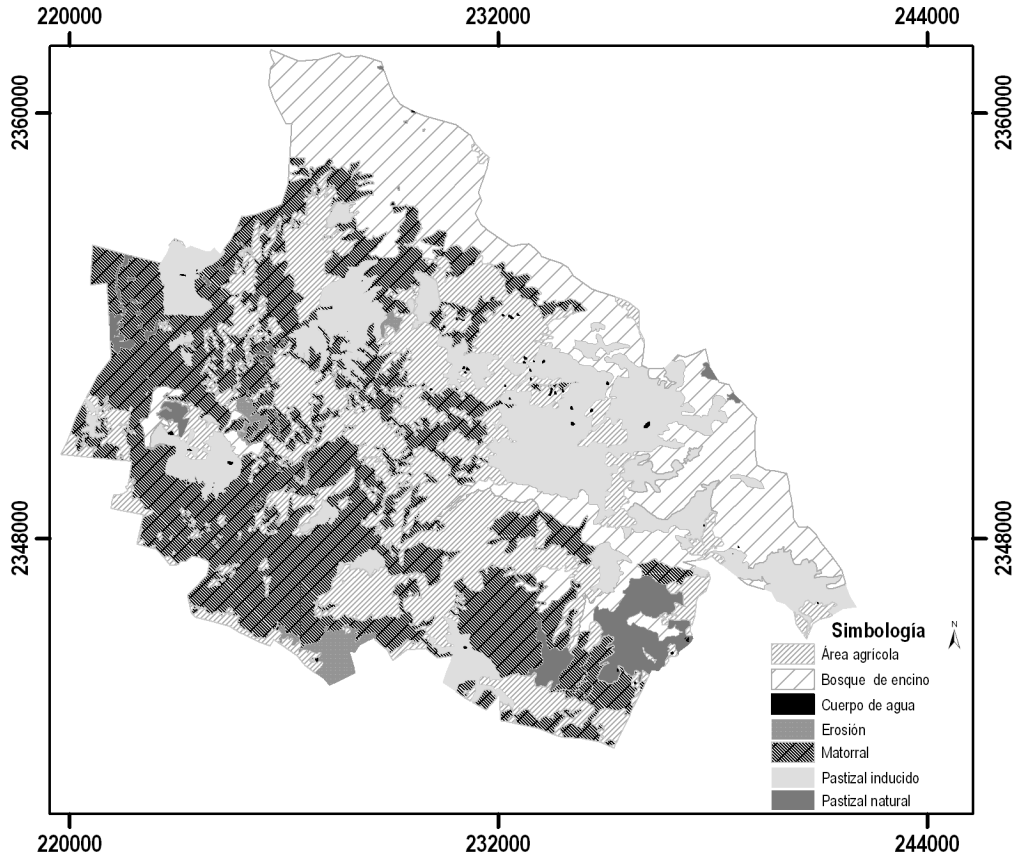


Figura 6.11. Distribución de la vegetación y uso de suelo en 1970 para el ANP *Sierra de Lobos*, León, Guanajuato.

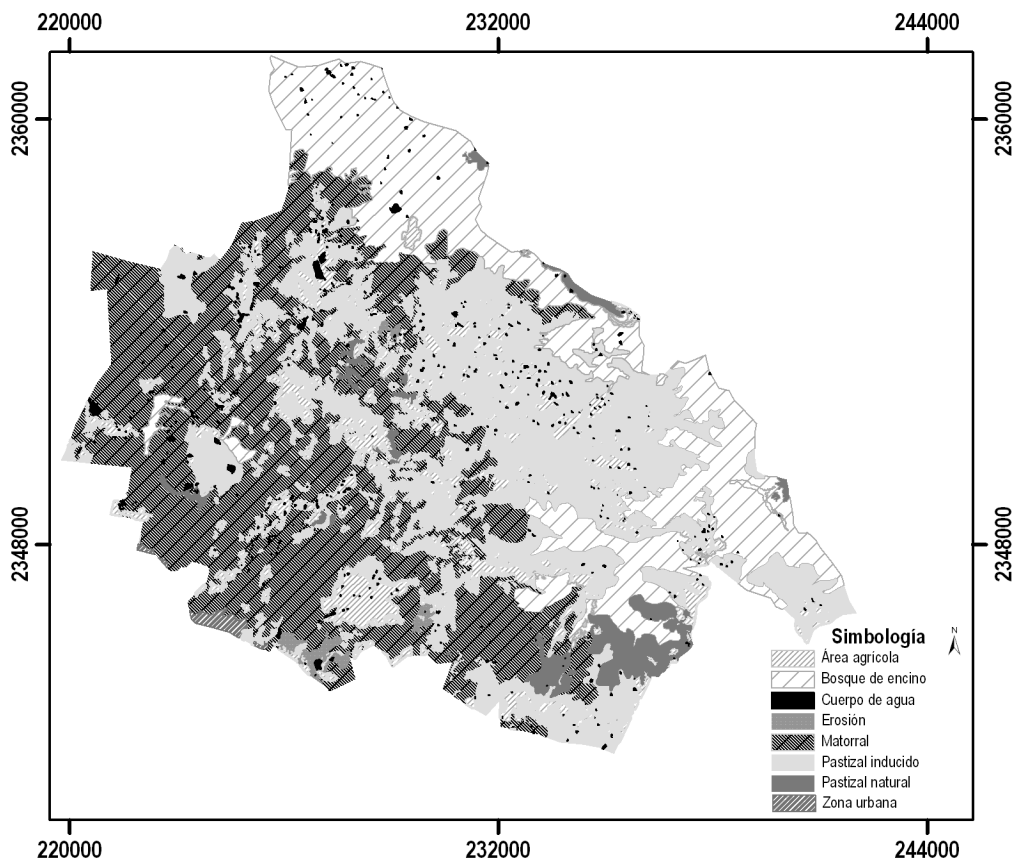


Figura 6.12. Distribución de la vegetación y uso de suelo en 2007 para el ANP *Sierra de Lobos*, León, Guanajuato.

Cuadro 6.3. Matriz de cambio de uso de suelo y vegetación para el periodo 1970 - 2007 en el ANP de la *Sierra de Lobos*, León, Guanajuato.

	2007						Subtotal
	AA	BE	CA	ER	MA	PA	
AA	1756	65	62	52	1146	2396	5525
BE	35	4212	13	0	145	422	4827
CA	4	1	8	1	2	6	22
1970 ER	23	1	2	79	129	1	234
MA	245	180	25	13	6224	1050	7768
PA	334	312	22	4	525	3138	4334
Subtotal	2395	4770	132	149	8170	7013	22710

AA= Área agrícola; BE= Bosque de encino; CA= Cuerpos de agua; ER= Erosión; MA= Matorral; PA= Pastizal.

Acciones propuestas

Reforestación.- La restauración de la vegetación con especies forestales nativas se considera una opción práctica en las áreas afectadas por el pastoreo y el abandono de las tierras de cultivo. Las especies nativas tienen amplia adaptación y la tecnología silvícola que se requiere es de bajo costo y sencilla de aplicar.

El potencial de 204 especies nativas agrupadas en 27 familias botánicas fue determinado por Terrones *et al.* (2004 y 2007) con base en las variables de altitud, clima, tipo de vegetación, pendiente, características físicas y químicas del suelo, susceptibilidad a heladas y sequías. Así mismo, reportaron la utilidad práctica que se le da a estas especies en la región, lo cual debe tomarse en cuenta en los programas de reforestación. A continuación se enlistan las especies que podrían utilizarse en el ANP de la Sierra de Lobos.

Familia *Anacardiaceae*.- *Pistacia mexicana* (Lentisco), *Rhus aromatica* var *trilobata* (Agrillo), *Rhus microphylla* (Agrito), *Rhus pachyrrhachis* (Lantrisco) y *Rhus standleyi* (Zumaque). Familia *Asteraceae*.- *Artemisia ludoviciana* (Estafiate), *Brickellia veronicifolia* (Pexton), *Chrysactinia mexicana* (Damiana), *Verbesina greenmanii* (Capitaneja), *Zaluzania augusta* (Castinguiñi blanco), *Baccharis multiflora* (Jaral), *Baccharis salicifolia* (Jara de arroyo), *Pittocaulon praecox* (Candelero), *Senecio salignus* (Jara amarilla), *Montanoa frutescens* (Vara tronadora), *Montanoa tomentosa* (Pirimo blanco), *Verbesina pietatis* (Pirimo amarillo) y *Verbesina pedunculosa* (Pirimo colorado).

Familias *Betulaceae*, *Juglandaceae* y *Meliaceae*.- Fam *Betulaceae*: *Alnus acuminata* ssp *arguta* (Aliso), *Alnus acuminata* ssp *glabrata* (Alamo), *Alnus jorullensis* ssp *jorullensis* (Aile), *Alnus jorullensis* ssp *lutea* (Aile), *Carpinus caroliniana* (Moralillo) y *Ostrya virginiana* (Petatillo); Fam. *Juglandaceae*: *Carya ovata* (Nogal coamecate), *Carya palmerii* (Nogal coní) y *Juglans mollis* (Nogal); Fam. *Meliaceae*: *Cedrela dugesii* (Nogal cimarrón) y *Trichilia havanensis* (Estribillo).

Familia *Burseraceae*.- *Bursera penicillata* (Copal de fruto), *Bursera bipinnata* (Copal), *Bursera cuneata* (Copalillo), *Bursera galeottiana* (Xiote colorado), *Bursera palmieri* (Palo cuchara), *Bursera fagaroides* (Palo xixote) y *Bursera morelensis* (Palo colorado).

Familias *Cactaceae* y *Fouquieriaceae*.- *Myrtillocactus geometrizans* (Garambullo), *Stenocereus queretaroensis* (Pitayo), *Echinicactus platyacanthus* (Biznaga gigante) y *Fouquieria splendens* (Chiquiñá).

Familia *Cupressaceae*.- *Cupressus lusitánica* (Cedro blanco), *Juniperus flaccida* (Táscate, enebro), *Juniperus martinezii* (Cedro) y *Juniperus monosperma* (Cedro chino).

Familia *Fabaceae* subfamilia *Mimosoideae*.- *Acacia angustissima* (Timbre), *Acacia constricta* (Mezquitillo), *Acacia coulteri* (Palo de arco), *Acacia gregii* (Uña de gato), *Acacia pringlei* (Gavia), *Acacia schaffnerii* (Huizache chino), *Acacia farnesiana* (Huizache yoróndiro), *Acacia pennatula* (Huizache tepame), *Albizia occidentalis* (Palo blanco), *Enterolobium cyclocarpum* (Parota), *Calliandra anomala* (Cabellitos de ángel), *Calliandra eriophylla* (Viejo, greñuda), *Calliandra formosa* (Tepehuaje), *Ebanopsis ebano* (Ebano), *Pithecellobium albicans* (Chimay), *Pithecellobium brevifolium* (Palo de tenaza), *Pithecellobium dulce* (Guamúchil), *Leucaena esculenta* (Querenda), *Leucaena cuspidata* (Guachillo), *Lysiloma acapulcense* (Tepehuaje), *Lysiloma demostachys* (Huanumillo prieto), *Lysiloma divaricata* (Palo prieto), *Lysiloma microphyllum* (Quebracho colorado), *Mimosa aculeaticarpa* (Garabatillo liso), *Mimosa albida* (Vergonzosa), *Mimosa biuncifera* (Gatuño rojo),

Mimosa fasciculata (Gatuño blanco), *Mimosa monancistra* (Garabatillo chino), *Mimosa polyantha* (Uña de gato), *Mimosa lacerata* (Cachiripo) y *Prosopis laevigata* (Mezquite).

Familia *Fabaceae* subfamilia *Caesalpinoideae*.- Especies con potencial: *Bauhinia coulteri* (Manita de cabra), *Bauhinia macranthera* (Pata de cabra), *Conzattia multiflora* (Palo totole), *Parkinsonia aculeata* (Junco), *Senna atomaria* (Palo hediondo), *Senna polyantha* (Palo fierro), *Senna hirsuta* var *glaberrima* (Café cimarrón), *Senna multiglandulosa* (Bricho manso), *Senna septemtrionalis* (Bricho liso) y *Senna wislizeni* var *painteri* (Comsa).

Familia *Fabaceae* subfamilia *Papilionoideae*.- *Brogniartia intermedia* (Bricho, pico de cuervo), *Brogniartia lupinoides* (Jaboncillo), *Dalea citriodora* (Limoncillo), *Dalea lutea* (Escobilla), *Desmodium orbicularis* (Engordacabra), *Lupinus montanus* (Garbancillo), *Diphysa suberosa* (Palo santo), *Erythrina flabelliformis* (Colorín), *Erythrina herbacea* (Patol), *Eysenhardtia polystachya* (Palo dulce) y *Eysenhardtia punctata* (Varaduz).

Familia *Fagaceae*.- *Quercus affinis* (Encino colorado), *Quercus candicans* (Encino cenizo), *Quercus castanea* (Roble bellota), *Quercus crassifolia* (Encino prieto), *Quercus emoryi* (Encino chino), *Quercus glaucescens* (Encino blanco), *Quercus greggii* (Encino bellotero), *Quercus intricada* (Charrasquillo), *Quercus laurina* (Laurelillo), *Quercus macrophylla* (Roble blanco), *Quercus mexicana* (Palo prieto), *Quercus microphylla* (Encino enano), *Quercus obtusata* (Encino blanco), *Quercus resinosa* (Roble) y *Quercus rugosa* (Encino de miel).

Familia *Moraceae*.- *Ficus cotinifolia* (Higuerón), *Morus celtidifolia* (Mora) y *Ficus padifolia* (Camuchín).

Familia *Pinaceae*.- *Abies religiosa* (Pinabete, oyamel), *Pinus devoniana* (Ocote escobetón), *Pinus engelmannii* (Pinus engelmannii), *Pinus lumholtzii* (Pino triste), *Pinus pinceana* (Piñón), *Pinus pseudostrobus* (Pino blanco) y *Pinus teocote* (Pino colorado).

Familia *Rhamnaceae*, *Oleaceae* y *Ulmaceae*.- *Adolphia infesta* (Abrojo), *Ceanothus buxifolius* (Chaparro prieto), *Ceanothus caeruleus* (Tlaxiste), *Ceanothus greggii* (Jaboncillo), *Colubrina elliptica* (Granjeno rojo), *Condalia mexicana* (Granjeno prieto), *Condalia velutina* (Zargihuil), *Rhamnus capraeifolia* (Palo de zorra), *Gouania polygama* (Bejuco espumoso), *Karwinskia humboldtiana* (Sarabuyo), *Karwinskia mollis* (Carambola) y *Krugiodendron ferreum* (Capulincillo), *Celtis caudata* (Cuáquil), *Celtis iguanaea* (Granjeno blanca) y *Celtis pallida* (Granjeno anaranjado). *Forestiera durangensis* (Acebuche), *Fraxinus greggii* (Fresno cimarrón) y *Fraxinus uhdei* (Fresno blanco).

Familia *Rosaceae*.- *Amelanchier denticulata* (Membrillo cimarrón), *Cowania mexicana* (Romero cedro), *Cowania alicata* (Rosa cimarrona), *Crataegus mexicana* (Tejocote amarillo), *Crataegus pubescens* (Tejocote anaranjado), *Prunus serotina* (Capulín negro) y *Prunus brachybotrya* (Capulín cerezo).

Familia *Taxodiaceae*, *Platanaceae* y *Salicaceae*.- *Taxodium mucronatum* (Sabino), Fam. *Platanaceae*: *Platanus mexicana* (Alamo blanco), *Populus tremuloides* (Alamillo), *Salix bonplandiana* (Sauce), *Salix humboldtiana* (Sauz, sauce), *Salix schaffnerii* (Saucillo) y *Salix taxifolia* (Taray).

Familia *Tiliaceae*.- Especies con potencial: *Heliocarpus reticulatus* (Cicua).

Selva baja caducifolia.- *Plumeria rubra* (Cacaloxúchitl), *Thevetia peruviana* (Fraile), *Thevetia thevetioides* (Fraile) y *Vallesia glabra* (Frutilla), *Aralia humilis* (Hormiguillo), *Aralia hegeliana* (Pengua), *Tecoma stans* (Flor de San Pedro), *Ceiba aesculifolia* (Pochote), *Pseudobombax ellipticum*

(Clavellina roja), *Cordia alliodora* (Palo viga), *Cordia boissieri* (Trompillo), *Ehretia anacua* (Capulín blanco), *Ipomoea murucoides* (Casahuate) y *Ipomoea arborescens* (Palo de muerto), *Euphorbia fulva* (Palo lechón), *Jathropa dioica* (Sangregado) y *Ditaxis heterantha* (Azafrán de bolita), *Neopringlea integrifolia* (Palo varilla), *Zuelania guidonia* (Palo volantín), *Hyptis albida* (Chía), *Salvia leucantha* (Salvia real), *Salvia mexicana* (Salvia de monte), *Salvia microphylla* (Mirto de campo) y *Satureja mexicana* (Ajedrea). *Buddleja perfoliata* (Salvia de bolita), *Buddleja cordata* (Tepozán blanco), *Buddleja scordioides* (Hierba de las escobas), *Buddleja sessiliflora* (Tepozán verde), *Randia armata* (Crucillo), *Randia blepharoides* (Palo en cruz), *Casimiroa edulis* (Zapote blanco), *Ptelea trifoliata* (Palo zorrillo), *Zanthoxylum fagara* (Chivatillo), *Dodonaea viscosa* (Ocotillo), *Solanaceae: Solanum marginatum* y *Solanum torvum* (Sosa).

Fomento a la cultura forestal.- Fomento a la cultura forestal y el cuidado del medio ambiente, orientada a mejorar el nivel de conciencia de los pobladores respecto a la importancia del aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. En general, el nivel de cultura forestal de los pobladores es bajo y en consecuencia se originan problemas de sobreexplotación incendios, tala clandestina, desmontes; además, de poca participación en actividades de protección y remediación, desorganización y falta de apoyos técnicos y financieros. Los niveles de cultura y educación de los pobladores se incrementarán en la medida que perciban los beneficios que el recurso forestal puede proporcionar y los perjuicios que causa el deterioro.

Reglamentación de los aprovechamientos forestales.- El aprovechamiento de los recursos naturales tales como los pastos, especies maderables y no maderables, agua, suelo, se deben sujetar a las disposiciones técnicas legales vigentes y se deben realizar bajo el principio de sustentabilidad.

La recolección y aprovechamiento no comercial de frutos de la flora silvestre y de maderas muertas, podrá realizarse sólo por los propietarios de los predios; asimismo, la recolección de plantas de uso medicinal y ornamental, también podrá realizarse en beneficio de los propietarios siempre que esta actividad no se realice sobre especies consideradas en alguna categoría de protección o sobre especies sujetas a manejo especial. No debe permitirse la introducción de especies exóticas.

La actividad ganadera debe regularse en función de la capacidad productiva de los sitios para evitar el sobrepastoreo y sus efectos consecuentes. Asimismo, la agricultura debe realizarse en las áreas más productivas con la siembra de cultivos alternativos (frutales caducifolios, plantas medicinales) y tecnología adecuados a fin de minimizar el abandono de tierras. Los recursos no maderables que existen en la zona se deben aprovechar en la medida que su potencial productivo lo permita y establecer plantaciones de especies nativas. De la misma manera, se debe proteger los cauces naturales de ríos y arroyos para favorecer una adecuada captación de agua.

Vigilancia forestal.- La extracción ilegal de leña, "tierra de hoja" y la elaboración de carbón para venta se presenta principalmente en las áreas cubiertas con encino. La extracción de leña ha disminuido en los últimos años; sin embargo, no se cuenta con una reglamentación para la extracción de tierra de hoja. Implementar brigadas de vigilancia y puntos de control forestal podría coadyuvar a evitar estas actividades.

Plantaciones forestales.- Se debe considerar establecer plantaciones en sitios deforestados por causas diversas, si el área se deja abandonada, con el paso del tiempo será repoblada con vegetación secundaria compuesta principalmente por arbustos, especies de encino y otras de poco valor. Para establecer plantaciones en determinados sitios es necesario desarrollar un proceso

riguroso de selección de especies, colecta de semilla, producción de planta, preparación del terreno y plantación, así como su manejo posterior mediante prácticas de manejo innovadoras. Actualmente se tienen viveros comunitarios que son manejados, con éxito, por los habitantes; en estos casos, es recomendable que reciban mayores incentivos y que las experiencias sean transmitidas al resto de las comunidades de la *Sierra de Lobos* (Figura 6.13).



Figura 6.13. Vivero comunitario de la comunidad de San Juan de Otates en la *Sierra de Lobos*, León, Guanajuato.

Asistencia técnica.- Esta acción se podría realizar a través de cursos-talleres enfocados en la capacitación de los productores sobre los aspectos técnicos elementales del manejo forestal. La capacitación debe impartirse a diferentes niveles: productores, técnicos de campo, autoridades y prestadores de servicios técnicos.

Control sanitario.- Los principales problemas sanitarios que afectan a la vegetación arbórea y arbustiva es la presencia de plantas parásitas de los géneros *Thillandsia* y *Arceuthobium* (Vázquez *et al.*, 2004). Recientemente se han realizado diversas actividades como la poda de saneamiento o bien la recolección manual de plantas parásitas; sin embargo, esta última práctica es poco aconsejable debido a que este tipo de plantas parásitas conservan yemas vegetativas en la base que no llegan a retirarse con la recolección manual. Existen áreas muy extensas de vegetación afectada por estos parásitos, lo que permite inferir que la vegetación se encuentra en un estado fitosanitario frágil en toda la zona. Es conveniente capacitar técnicos para la detección y control sanitario.

Control de incendios.- El número de incendios por año se incrementó a partir de 1998, año en el que ocurrieron los siniestros más catastróficos que afectaron grandes áreas (SEMARNAT 2001). Se propone fortalecer las campañas de prevención, detección de las áreas con riesgo, efectuar

“limpias” para disminuir la carga de combustibles e implementar dispositivos de organización que favorezcan las acciones de prevención y combate.

Captura de agua.- En la vertiente sur de la *Sierra de Lobos* se localizan siete microcuencas hidrológicas cuyas aguas fluyen a las presas que abastecen de agua a la ciudad de León; por lo tanto, existe potencial para desarrollar el mercado de servicios ambientales hidrológicos. Desde 2003, se inició en México a través de la CONAFOR el programa de servicios hidrológicos (CONAFOR, 2007 y 2008; SEMARNAT, 2007); sin embargo, este programa no es conocido por los pobladores de la zona.

La principal preocupación en el área se debe principalmente a los niveles de deforestación que se registran en la zona y las consecuencias negativas que esto ha acarreado, la principal es el desperdicio de agua de lluvia debido a las malas condiciones del suelo y de la vegetación en las superficies forestales.

Se debe desarrollar un proyecto modelo que ejemplifique la importancia de este servicio en la preservación y fomento de la vida. Realizar diagnósticos para definir el impacto que tiene conservar y proveer este servicio hidrológico, a fin de generar el desarrollo de mercados potenciales, buscando que los usufructuarios y los beneficiarios, incluyendo a quienes viven en las partes bajas, contribuyan proporcionalmente por el uso de este servicio y favorezcan la conservación y protección del recurso forestal.

Es importante señalar que el conocimiento de la producción de agua y su calidad a nivel de cuencas y más aún tratándose de cuencas forestales, como es el caso de la *Sierra de Lobos*, ayudará a evaluar desde una mejor perspectiva una calificación dirigida hacia los servicios ambientales. El conocimiento de la producción de agua y su calidad proporcionará información valiosa sobre el funcionamiento de las cuencas que conforman el área. El manejo de cuencas debe iniciarse con el entendimiento del ciclo hidrológico que se presenta de manera particular en las cuencas. El ciclo hidrológico permite conocer las reservas, demandas, suministros, predicción de los fenómenos de rara frecuencia (Barker *et al.*, 1995), así como las oportunidades de aprovechamiento actual del agua y su posible potencial en un futuro cercano. El escurrimiento superficial de las cuencas concentrado en las diferentes corrientes fluviales puede identificarse como producción de agua. Estos escurrimientos dependen de la duración e intensidad de la lluvia y el tipo de precipitación, así como de los factores de la cuenca como la geomorfología, el suelo y el uso del suelo.



Figura 6.14. Área con deforestación severa, en éstas áreas los escurrimientos fluyen de manera excedente, debido a que los suelos someros y la escasa vegetación contribuyen poco a la infiltración.

El estudio del ciclo hidrológico inicia con la entrada de agua a las cuencas derivada de la precipitación y posteriormente esta agua se distribuye de diversas maneras, ya sea regresando a la atmósfera nuevamente por evaporación, infiltrándose en el suelo o escurriendo de manera superficial. El escurrimiento superficial proviene de tres mecanismos principales: a) como excedente de la infiltración, b) por saturación de la capa superficial o 3) por flujo sub superficial (Dunne y Leopold, 1996 y Knighton, 1998). En la *Sierra de Lobos* los tres mecanismos se observan de manera simultánea, pero domina el excedente de la infiltración, sobre todo en las áreas sometidas a deforestación severa (Figura 6.14).

Captura de carbono.- Debido a la falta de experiencia en el desarrollo de proyectos sobre almacenamiento y captura de carbono en los ecosistemas existentes en la zona, los productores desconocen el mercado potencial para ofertar estos servicios, no obstante que desde 2004 existe el programa implementado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2008).

En la actualidad existe una creciente preocupación en todo el mundo por el aumento de la concentración de dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera. En los últimos años ésta ha pasado de 280 a 350 ppm de CO_2 y continúa aumentando a una tasa promedio de más de 1 ppm al año (Deans *et al.*, 1996); esto es el resultado del constante crecimiento del uso de los combustibles fósiles, el cambio de uso de suelo y la elevada tasa de deforestación en los años recientes (Masera *et al.*, 1995; De Jong *et al.*, 1995). Una de las consecuencias del aumento del CO_2 en la atmósfera es el denominado efecto invernadero. Los árboles, y en general todas las plantas verdes, utilizan el CO_2 y liberan oxígeno durante el proceso de la fotosíntesis. Sin embargo, en el proceso de respiración el proceso se invierte, de manera que en la noche utilizan el oxígeno y liberan CO_2 ,

la incertidumbre acerca de los flujos de carbono que ocurre en los ecosistemas es alta, debido no solo al desconocimiento de la biomasa y densidad del suelo, sino también por la dinámica en las tasas de deforestación, degradación, expansión y crecimiento de los seres vivos que forman parte de un ecosistema en particular. Los beneficios que se obtienen de los ecosistemas se deben considerar desde un punto de vista económico, de servicios para la humanidad y de equilibrio para el ambiente y el mismo ecosistema. No se debe considerar, por ejemplo, a un bosque como proveedor de madera como producto único, sino de otros subproductos, entre ellos, la retención del carbono. Una alternativa para reducir la cantidad de CO_2 atmosférico sería capturar una mayor cantidad de este gas en la vegetación. Esto conduce a aceptar una gama más amplia en los planes y programas de manejo que se proponen para la *Sierra de Lobos*, los cuales deben estar supeditados a satisfacer los propósitos de quien controla la toma de decisiones en el área.

Se propone desarrollar proyectos para determinar la oferta de servicios ambientales por captura de carbono, si los resultados son positivos, es posible motivar la participación de los productores. Algunas fuentes de apoyo son organizaciones internacionales como Bio Carbon Fund, Banco Mundial, European Carbon Fund, GG-CAP y Programa Finandés JI/MDL, entre otros.

Ecoturismo.-El impulso del ecoturismo es incipiente, sobre todo por la inexperiencia para desarrollarlo. Existe el interés por parte de los productores para generarlo, sobre todo en combinación con actividades que se desarrollan en la región. Desde el punto de vista comercial, la *Sierra de Lobos* ofrece atractivos naturales que pueden generar ingresos a los productores y propietarios del recurso forestal. En la actualidad son muy pocos los proyectos ecoturísticos en desarrollo (Figura 6.15), ya que en la región se realizan actividades como el campismo y existen algunas unidades de manejo ambiental (UMA's). Los ecosistemas, la biodiversidad, el valor escénico y recreativo que existen en la *Sierra de Lobos* representan un amplio potencial para desarrollar proyectos de ecoturismo, ofreciendo flora, fauna y belleza escénica. En los proyectos se debe considerar la integración de las comunidades locales a dicha actividad, a través de medianas, pequeñas y micro empresas ecoturísticas relacionadas con el montañismo, el ciclismo de montaña, cabalgatas, alojamiento, pesca deportiva y rappel, entre muchas otras.



Figura 6.15. Los proyectos de ecoturismo son escasos. Centro vacacional en La Sierra de Lobos.

Los problemas detectados que limitan el desarrollo del ecoturismo son: la falta de planeación para el desarrollo, el desconocimiento del tema, vías de comunicación deficientes y servicios diversos, así como la falta de personal capacitado para ejecutar proyectos de este tipo. El ecoturismo tiene amplio potencial en la *Sierra de Lobos*, sin embargo, es necesario implementar estrategias que consideren el impacto en el medio para desarrollarlos mediante acciones sustentables. Los proyectos de ecoturismo deben ser ecológicamente viables, socialmente aceptados económicamente rentables y tecnológicamente factibles.

Se propone la implementación de proyectos ecoturísticos funcionales, así como promocionar nuevas servicios por parte de los propietarios del recurso forestal. Estos servicios, además de contribuir a la conservación de recursos naturales y resaltar el valor del patrimonio natural, generan empleos y beneficios económicos a través de la creación de medianas, pequeñas y micro-empresas turísticas (SEMARNAT, 2006).

CONCLUSIONES

Las actividades con mayor impacto sobre los recursos naturales en la vertiente sur de la *Sierra de Lobos* son la agricultura y la ganadería. La baja rentabilidad de la agricultura causa el abandono de tierras en las que el recurso suelo se degrada rápidamente. La intensa actividad ganadera ocasiona sobrepastoreo de los pastizales nativos e inducidos con el consecuente deterioro del suelo y alteración de la cubierta vegetal.

La alta tasa de reducción en la superficie agrícola (-84.6 ha/año) y la tasa de incremento en el área con pastizales inducidos (+68.4 ha/año) indican que en el futuro, la actividad pecuaria ejercerá mayor presión que la agricultura y el aprovechamiento forestal, sobre los recursos naturales.

Las plantaciones forestales con especies nativas en los terrenos abandonados tendrían un impacto favorable en la conservación del suelo y agua. Para establecer un programa de reforestación es necesario desarrollar un proceso riguroso de selección de especies, colecta de semilla, producción de planta, preparación del terreno y plantación, así como el manejo posterior mediante las prácticas adecuadas.

En el periodo de 1970 a 2007 aproximadamente 6,642 ha cambiaron de uso, lo que equivale al 29.24% de la superficie total del área natural protegida de la *Sierra de Lobos*. Lo anterior, indica que la dinámica de cambio en la cubierta vegetal es acelerada, debido principalmente al incremento en las actividades pecuarias, por lo que es importante implementar acciones que permitan revertir esta tendencia.

Para lograr un pago por servicios ambientales (captura de agua, captura de carbono, ecoturismo) es preciso que primero se reconozca la capacidad que tienen los ecosistemas de la *Sierra de Lobos* y su biodiversidad para producir bienes y servicios ambientales. Esto se alcanza mediante la adecuación de las políticas, leyes e instituciones existentes, que permiten la valoración y el pago o compensación de los mismos, en beneficio de los pobladores de la zona.

El pago de los servicios ambientales es un mecanismo que se ha implementado en varios países para la protección y el manejo sostenible de los recursos naturales. En la actualidad ya se han establecido una serie de normas para el pago de los servicios ambientales en Oaxaca, Chiapas y Veracruz, por lo que en la *Sierra de Lobos* puede establecerse un mecanismo de manera similar, aunque el bosque templado representa una tasa menor de captura que los bosques tropicales.

El problema para producir servicios ambientales en la *Sierra de Lobos* es que demandantes y productores no identifican el servicio ambiental como una actividad productiva. En el caso de productores, éstos centran su atención en la producción de bienes de importancia económica relevante como la madera y no consideran el beneficio económico que representa la producción de agua o de otros servicios siendo las principales limitantes que existe poca promoción de proyectos relacionados con la producción de servicios ambientales; los habitantes desconocen el potencial económico que representa la prestación de servicios ambientales; el personal no está capacitado para valorar los servicios ambientales y se carece de criterios que definan el valor ecológico y económico de la biodiversidad.

LITERATURA CITADA

- Barker, J., J. D. Benavides S. y E. Talavera Z. 1995. Relationship between precipitation and streamflow on El Carrizal watershed, Tapalpa, Jalisco. Partnerships for sustainable forest ecosystem management. Fifth Mexico/U.S. Biennial Symposium. October 17 – 20, 1994. Guadalajara, Jalisco. Rocky Mountain Forest and Range Exp. Station. General Technical Report RM-GTR-266, Fort Collins, CO. p. 115 – 120.
- Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Guanajuato (CEASG). 1998. Estudio hidrogeológico y modelo matemático del acuífero del Valle de León. Plan Estatal Hidráulico de Guanajuato. Geofísica de exploraciones GUYSA, S.A. de C.V. Guanajuato, México. 296 p.

- Centro Mexicano del Derecho Ambiental (CEMDA). 2002. Deforestación en México: causas económicas incidencias en el comercio internacional en la Deforestación. Centro Mexicano del Derecho Ambiental; Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable México. 291 p.
- Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro. Conabio-IB UNAM-Sierra Madre. México. 847 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2008. Programa para desarrollar el mercado de servicios ambientales por captura de carbono y los servicios derivados por la biodiversidad y para fomentar el establecimiento y mejoramiento de sistemas agroforestales (PSA-CABSA). CONAFOR. Reglas de Operación y Lineamientos Generales. México. En <http://www.conafor.gob.mx>. (Junio de 2008).
- Deans, J. D., J. Mora, and J. Grace. 1996. Biomass relationships for tree species in regenerating semi-deciduous tropical moist forest in Cameroon. *For. Ecol. Manag.* 88:215-225.
- De Jong, B., G. Montoya G., K. Nelson, L. Soto P. and R. Tipper. 1995. Community forest management and carbon sequestration: A feasibility study from Chiapas, Mexico. *Interciencia* 20(6): 409-416.
- Dunne, T. y B. Leopold, L., 1996. Water in environmental planning. W. H. Freeman and Company, New York. 818 p.
- Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO). 2005a. Consideraciones generales para la elaboración y la adecuación de planes rectores de producción y conservación (PRPC). Dirección Ejecutiva de desarrollo técnico e institucional. México. 74 p.
- Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO). 2005b. Guía Técnica para la Elaboración de Planes Rectores de Producción y Conservación (PRPC). México. 65 p.
- Flores, O. y P. Gerez. 1994. Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo, 2ª edición. CONABIO-UNAM, México, D. F. 439 p.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 146 p.
- García N., H., J. R. López M., M. Villers y R. García. 2000. Delimitación y caracterización de las tierras con uso inadecuado para la agricultura en el distrito de desarrollo rural 004, Celaya, Guanajuato, *Terra*. 18:1. 11-25.
- Gutiérrez, J. y M. Gould. 2000. SIG: Sistemas de Información Geográfica, Editorial Síntesis, Madrid, España. 251 p.
- Knighton, D. 1998. Fluvial forms and processes. A new perspective. Arnold Publishers, London. 383 p.
- Masera R., D., M. R. Bellon y D. Segura. 1995. Forest Management options for sequestering carbon in Mexico. *Biomass and Bioenergy* 35:265-295.
- Medina, J. M. y J. Rzedowski. 1981. Sierra de Pachuca. In: Sociedad Botánica de México, A. C. (Eds.) Guías Botánicas de México. Sociedad Botánica de México, A. C. México, D. F. 4:1-19.

- SANPEG. 1997. Decreto Gubernativo No. 77, Capítulo Único, Artículo Segundo. Conforme a lo establecido en el Decreto No. 68 Publicado en el Periódico Oficial del Estado el día Dos de Septiembre de 1997.
- Rosete, F., J. A. Ordóñez y O. Masera. 2008. Dinámica del cambio de uso del suelo y emisiones de carbono en la meseta purépecha, Reporte interno. Instituto de Ecología, UNAM, México. 25 p.
- Rzedowski, J. 1979. Flora fanerogámica del Valle de México. Ed. LIMUSA, México. 134 p.
- Rzedowski, J. 1981. La vegetación de México. Ed. LIMUSA. México. 432 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2001. Programa Estratégico Forestal Para México 2025. SEMARNAT CONAFOR. México. 191 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2006. Guía de normatividad ambiental, aplicable al ecoturismo comunitario. Segunda Edición. SEMARNAT. Eclipse S. A. de C. V. México, D. F. 109 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2007. Servicios Ambientales y Normatividad Ambiental y Forestal Vigente. En: www.semarnat.gob.mx. (junio de 2008).
- Terrones R., R., S. González C., y S. A. Ríos R. 2004. Arbustivas Nativas de Uso múltiple en Guanajuato. INIFAP. Libro técnico No. 2. México. 213 p.
- Terrones R., R., H. García N., M. Hernández M. y C. Mejía A. 2007. Potencial Agroforestal con Arbustivas Nativas. Estado de Guanajuato. Folleto Técnico Núm 1. México. 36 p.
- Vázquez S., L., J. C. Tamarit U., J. Quintanar O. y F. Varela L. 2004. Caracterización de la declinación de bosques de encinos en "Sierra de Lobos" Guanajuato, México. Polibotánica 17:1-14.
- Velázquez, A., J. F. Mas, G. J. Díaz, S. R. Mayorga, P. C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra y J. L. Palacio. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. Gaceta Ecológica, núm. 62. Instituto Nacional de Ecología. México, pp. 21–37.

Cartografía consultada

- Centro de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL), 1971. Carta topográfica. Hoja Guanajuato. 1: 250 000. México.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1974. Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación Escala 1:50 000. Serie I. México.



Ignacio Sánchez Cohen
Jesús A. Muñoz Villalobos
Gabriel Díaz Padilla
Hilario Macías Rodríguez
José Luis González Barrios

CAPÍTULO VII

SISTEMA DE APOYO PARA TOMA DE DECISIONES

INTRODUCCIÓN

Para definir las mejores prácticas dirigidas al manejo integrado de los recursos naturales (MIRN) en una región determinada, es fundamental el consenso entre los involucrados en el proceso de toma de decisiones para que las acciones que se propongan no estén limitadas por puntos de vista o intereses opuestos. Los Sistemas de Apoyo para la Toma de Decisiones (DSS por sus siglas en inglés) son una herramienta útil para precisar cuál es la mejor opción de solución ante un problema de deterioro de los recursos naturales o de jerarquización de acciones para prevenirlo (Sprague y Carlson, 1982; Finlay, 1994; Sprague y Watson, 1996; Sánchez *et al.*, 2008).

El MIRN en una región en la que se asientan una o varias comunidades y se desarrollan diferentes actividades se basa en el proceso de toma de decisiones en grupo, el cual se utiliza cuando existe una diferencia entre el estado actual del ecosistema (comúnmente recursos deteriorados por acciones de origen diverso) y el estado deseado; es decir, en equilibrio y sustentable y cuando concurren dos o más opciones de acción para conseguir el estado deseado (Sánchez *et al.*, 2006 y 2008; Korschgen *et al.*, 2002). El proceso de toma de decisiones sobre el manejo integrado de los recursos naturales procura la armonía entre los componentes considerados y no consiste en sumar partes sino en integrar los elementos en armonía con el desarrollo económico y la equidad en la región (Sánchez *et al.*, 2010; Dourojeanni, 2000). Este proceso no consiste en establecer la superioridad de una opinión o punto de vista con respecto a otras; por el contrario, integra los puntos de vista y la experiencia de los participantes (las cuales pueden ser diversas), para construir una plataforma que permita la toma de decisiones consensuadas. Una vez que el grupo de decisión logra un acuerdo sobre la magnitud e intensidad del o los problemas a resolver, la aplicación del modelo adecuado de DSS les permite arribar a soluciones incluyentes, multidisciplinarias y sobre todo, multi objetivo.

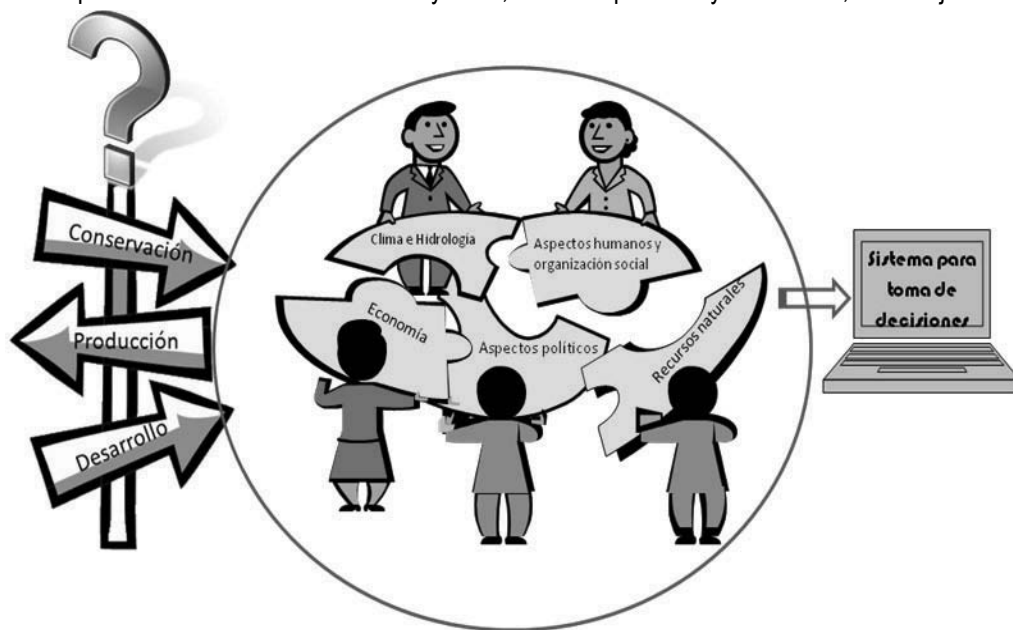


Figura 7.1. Proceso de toma de decisiones (Sánchez *et al.*, 2010).

El análisis multi criterio es un procedimiento que permite involucrar un amplio número de opciones de solución a un problema determinado y genera soluciones acordes a los intereses de los involucrados (Figura 7.1). El procedimiento consiste en elaborar una “matriz de decisión” conformada por las opciones de solución y los criterios que valoran a cada opción y requiere de información fidedigna del sitio de interés (Sánchez et al, 2010; Sánchez *et al.*, 2009; Loucks y Van Beek, 2005). Los sistemas de apoyo para la toma de decisiones son algoritmos que integran la teoría multicriterio (Keen y Morton 1978; Bonczek *et al.*, 1981; Holsapple y Whinston, 2001; Turban y Aronson, 2000 y Marakas, 2003).

En su más amplia acepción, un DSS es cualquier procedimiento útil para la síntesis y análisis de información que permite tomar decisiones individuales o colectivas y requiere la participación de los involucrados en la identificación del o los problemas, las opciones de solución y los criterios de decisión, todos ellos analizados en el contexto de los escenarios posibles (Turban, 1995, Keen 1980). La máxima eficacia del DSS se obtiene con la participación proactiva de los integrantes del grupo de decisión para alcanzar decisiones consensuadas (Sánchez *et al.*, 2008).

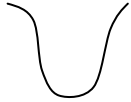
El alcance del DSS se incrementa cuando se construye con la participación de los usuarios o de quienes serán directamente beneficiados o afectados por las decisiones. El proceso participativo para la conformación del mejor curso o cursos de acción, identifica las inter relaciones de flujos de información y criterios de decisión y permite el estudio de problemas complejos. La integración de información es una característica del DSS multi objetivo, la cual puede provenir de diversas fuentes, incluyendo la obtenida directamente en campo, mediante modelos de simulación y a través de la opinión de expertos, entre otras.

Otra característica del DSS es la capacidad de auxiliar en la toma de decisiones relativas a la selección de áreas con opciones de uso múltiples (Gómez y Barredo, 2006; Densham y Goodchild, 1988). Es importante destacar que los algoritmos comúnmente usados en los procesos de planeación participativa, no contemplan la interacción social y económica, que en muchas ocasiones es el componente medular en la toma de decisiones. La aplicación del DSS en el manejo integrado de los recursos naturales se sustenta principalmente en las opiniones de expertos que permiten anticipar el impacto de las alternativas de manejo.

Cualquier DSS debe ser interactivo y suficientemente flexible para responder a las necesidades de los usuarios, ya sea una persona u organización en específico o un grupo de ellas, debe incluir el análisis de escenarios contruados con base en la importancia relativa que asignen los usuarios a los criterios de decisión (Saaty, 1997; Saaty, 2006; Yakowitz *et al.*, 1993; Peniwaty, 1995).

La matriz de decisión se integra con los valores adjudicados a cada criterio de selección de los problemas y opciones de solución por expertos, interesados, autoridades y en algunos casos derivados de modelos de simulación. Tomando en cuenta que los criterios no se cuantifican con las mismas unidades (metros, kilogramos, cubierta vegetal, dinero), es necesario estandarizarlos en una escala de 0 a 1 para su comparación; (Cuadro 7.1). Las funciones para estandarizar las variables dependerán del criterio asignado a la opción; por ejemplo, si el criterio es cantidad de suelo erosionado, la función que describe este proceso es decreciente (mas es peor) y puede ser exponencial o lineal entre dos límites (Heilman *et al.*, 2006; Sánchez *et al.*, 2008; Lawrence *et al.*, 2001).

Cuadro 7.1. Funciones de respuesta para estandarizar los criterios de evaluación.

Función	Representación de la variable	Observaciones
Mas es peor		Aplica para representar procesos de deterioro: contaminación, erosión, deforestación.
Mas es mejor		Representa incrementos benéficos: rendimiento, ingreso, bienestar.
Rango deseable		Aplica cuando la variable de interés está acotada por un mínimo y un máximo como rangos permisibles: aprovechamiento forestal, disposición de desechos.
Rango no deseable		Cuando la variable de interés esta acotada por un mínimo y un máximo como rangos no permisibles: cambio de uso del suelo, construcción.
Mas es mejor		Función que se utiliza cuando no se cuenta con información suficiente ó se cuenta con la opinión de expertos

METODOLOGÍA

Análisis multi criterio, multi objetivo

El proceso de análisis se llevó a cabo bajo los principios de análisis multi criterio, Sánchez *et al.*, 2008:

Considérense n elementos que serán comparados entre sí, $C_1, C_2, \dots, C_n$ y denótese al peso relativo (prioridad o significancia) de C_i con respecto a C_j por ω_{ij} para formar una matriz cuadrada $A = (\omega_{ij})$ de orden " n " con las restricciones de $\omega_{ij} = 1/\omega_{ji}$ para toda " $i \neq j$ ", y $\omega_{ii} = 1$ para toda i ; la matriz con estas características es una matriz recíproca. Los pesos son consistentes si son transitivos, es decir, $\omega_{ik} = \omega_{ij}\omega_{jk}$ para toda " i ", " j " y " k ". Posteriormente, se determinó un vector " ω " de orden " n " de tal manera que $A\omega = \lambda\omega$. Para esta matriz se dice que ω es el eigenvector (de orden " n ") y λ es un valor "eigen" para una matriz consistente $\lambda = n$.

Por lo tanto $\omega = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n]^t$ es el vector de pesos que se trata de obtener. La matriz $[A]$ se obtiene por medio de la comparación (por pares) de alternativas con el procedimiento descrito para obtener $[A \times \omega]$:

1

$$[A]x\omega = n\omega$$

Y dado que:

2

$$\begin{bmatrix} 1 & \frac{\omega_1}{\omega_2} & \frac{\omega_1}{\omega_n} \\ \frac{\omega_2}{\omega_1} & 1 & \frac{\omega_2}{\omega_n} \\ \frac{\omega_n}{\omega_1} & \frac{\omega_n}{\omega_2} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n\omega_1 \\ n\omega_2 \\ n\omega_3 \end{bmatrix}$$

En la ecuación 2 se observa que n es un valor eigen de [A].

Para matrices que involucran la opinión de los participantes en el proceso de toma de decisiones (como en el caso del manejo integrado de los recursos naturales), la condición expuesta $\omega_{ik} = \omega_{ji} \omega_{jk}$ no necesariamente se cumple ya que el juicio humano es naturalmente inconsistente en menor o mayor grado; en tal caso, el vector ω satisface la ecuación:

3

$$A\omega = \lambda_{\max} \omega \text{ y } \lambda_{\max} \geq n$$

La diferencia entre $\lambda_{\max}$ y "n" es un indicador de la inconsistencia en las opiniones al calificar en la matriz de decisión; si $\lambda_{\max} = n$, existe consistencia perfecta en los juicios emitidos (Saaty y Vargas, 1984).

Caso Sierra de Lobos

El análisis multi criterio es una herramienta que permite conciliar los puntos de vista de un grupo heterogéneo. Este método es particularmente útil cuando los intereses no coinciden en un objetivo específico o cuando las acciones que se deben implementar son de naturaleza diferente y existe divergencia de opiniones sobre el impacto, viabilidad y costo. Para el caso *Sierra de Lobos*, se aplicó el esquema propuesto por Sánchez *et al.*, 2008, (Figura 7.2). El software utilizado para el análisis fue Definite® 3.1 (software bajo licencia), (Janssen *et al.*, 2006).

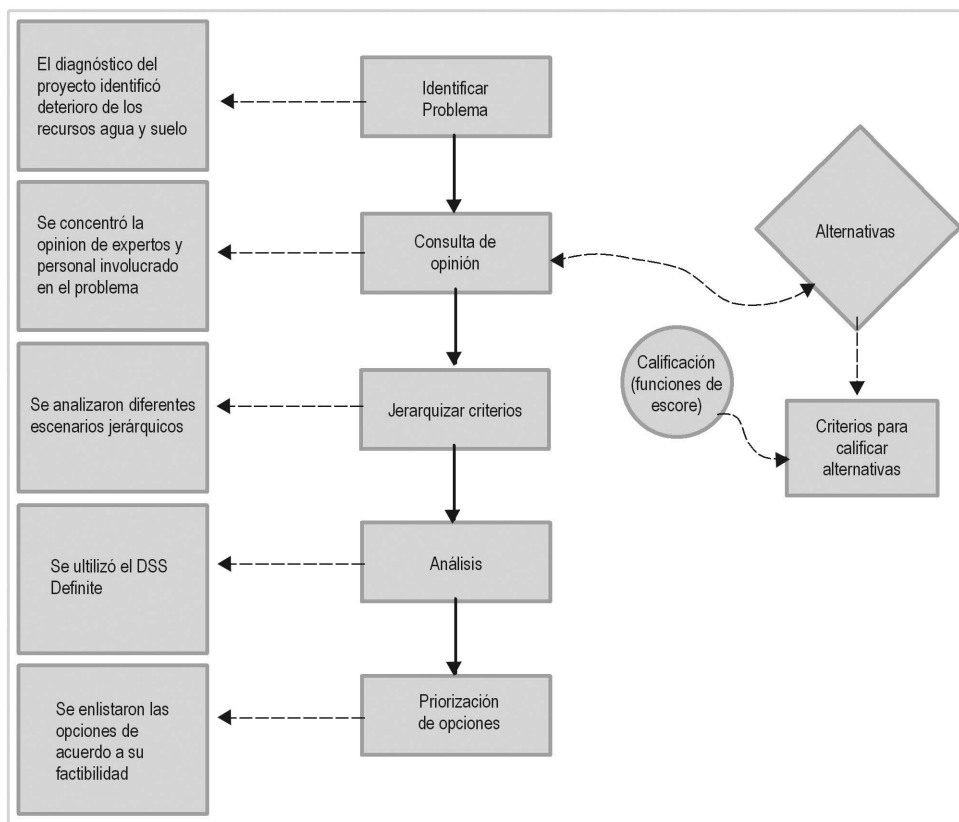


Figura 7.2. Esquema utilizado para identificar las alternativas viables para el manejo integral de los recursos naturales en el ANP *Sierra de Lobos*, León, Guanajuato.

Para llevar a cabo el ejercicio de análisis multi criterio – multi objetivo se contó con la participación de los representantes de las instituciones, organizaciones y usuarios en el área de estudio, con quienes se integró el grupo de decisión que propuso y ponderó las acciones y los criterios con los que se calificó cada acción (Félix, 2004; Sánchez *et al.*, 2008). En este caso participaron representantes de: Comisión Nacional Forestal, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto de Planeación del Estado de Guanajuato, Instituto Municipal de Planeación León, Gto., Presidencia Municipal de León, Gto., Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango, Agua y Bosque, A. C. y de las empresas Corp Areli, SIAMEX (Soluciones Integrales Alternativas Mexicanas) y PSP (Prestadores de Servicios Profesionales).

Durante el desarrollo del taller, se presentaron los resultados derivados de los estudios previos efectuados en el área (capítulos de este libro) en los que destacan las actividades que se desarrollan en el área de estudio y la importancia económica de ellas, así como la productividad del recurso agua, la variabilidad de la precipitación, periodos de sequía y el efecto de los fenómenos meteorológicos

globales como El Niño, uso del suelo en la diferentes actividades, edad del agua subterránea que permite identificar las áreas de recarga recientes y antiguas y el riesgo de contaminación y recursos forestales con que se cuenta, así como las especies con potencial para reforestar. El resultado del ejercicio fue una matriz de decisión que incluye los problemas y posibles soluciones. Las características que deben tener las alternativas de solución son:

Comparables. Toda alternativa de solución debe tener las mismas posibilidades de ser seleccionada y ser independiente; es decir, si un curso de acción depende de otro no es factible su adopción debido a que primero es necesario implementar la alternativa a la que subyace.

Similitud. Lo ideal es que las alternativas se cuantifiquen en la misma escala, lo cual no es condicionante si se someten al proceso de estandarización (para hacerlas comparables). Las ventajas y desventajas deben estar en un mismo plano de competencia; es decir, si de antemano se sabe que una alternativa es mejor que otra no es necesario someterlas a competencia dada la evidente ventaja de una sobre otra.

Alcanzables. Las alternativas deberán tener las mismas posibilidades de ser realizadas en forma independiente. Los usuarios deben contar con capacidad de implementar la alternativa ya que si depende de terceros es probable que no se realice.

Cantidad. Es importante no contemplar demasiadas alternativas para evitar la interdependencia entre ellas y que el proceso de evaluación sea tortuoso, largo y se dificulten los acuerdos. Sin embargo, si se presenta un gran número de alternativas, se pueden eliminar algunas con base en criterios de costo, factibilidad y dificultad de implementación.

Problema, acciones y criterios

El grupo de decisión planteó como problema central el deterioro de los recursos naturales, que de hecho fue el problema que dio origen al proyecto, y propuso seis alternativas de solución (acciones) prioritarias; estas acciones son de carácter general y de ellas se puede derivar las acciones puntuales de remedio al problema planteado. También es pertinente asentar que las acciones, descritas a continuación, no necesariamente asumen que se llevarán a cabo por el grupo de trabajo, solo puntualizan los cursos de acción que el grupo de análisis considera necesarios para el problema en cuestión.

Organización. Se refiere a los usuarios de la cuenca para compartir información y coordinar las acciones dirigidas hacia el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.

Servicios ambientales. Incluye las acciones dirigidas a mantener el estado natural del ecosistema en lo relativo a la conservación del agua, el suelo y los recursos forestales.

Capacitación. Se considera que el entrenamiento es crucial para la aplicación efectiva de las tecnologías disponibles sobre el aprovechamiento y conservación de los recursos naturales.

Cultura. El grupo consideró que la educación sobre los beneficios de la conservación de los recursos naturales, puede ser la plataforma para la percepción del problema de deterioro ambiental.

Ordenamiento racional. Acciones orientadas al desarrollo económico de la región, equitativas y sustentables que consideren la capacidad del ecosistema. Incluye cambios en el uso del suelo.

Cumplimiento de la ley. Observancia de las normas y reglamentos vigentes en materia de aprovechamiento y conservación de los recursos naturales.

Para calificar cada una de las acciones o alternativas se definieron cuatro criterios con sus respectivos sub criterios:

Económico

- Generación de empleo
- Productividad de los recursos
- Costo

Técnico

- Factibilidad

Social

- Equidad
- Unidad
- Bienestar

Ecológico

- Sustentabilidad
- Biodiversidad
- Protección de áreas naturales

Se presentaron y explicaron las alternativas seleccionadas al grupo, a fin de que todos los participantes las conceptualizaran en forma similar. El grupo de decisión calificó cada una de las alternativas o acciones con base en los cuatro criterios, para lo cual, asignó un valor en la matriz de decisión en la escala de 0 a 1. En esta etapa se propició la participación del grupo en el ejercicio multi objetivo y multi disciplinario. Para garantizar la validez del ejercicio no se utilizó el promedio aritmético para obtener la calificación final de las alternativas con opiniones diametralmente opuestas; es decir, si uno de los participantes otorgaba una calificación baja y otro una calificación alta a la misma alternativa, se mantuvo la apreciación de cada uno. La calificación final se obtuvo al ponderar el grado de conocimiento del participante relativo a la alternativa calificada. De esta manera, no se sobre estimó la opinión de quién tenía menos conocimiento ni se sub estimó la del participante con mayor conocimiento del caso (Cuadro 7.2).

Cuadro 7.2. Matriz de decisión, acciones y criterios. ANP Sierra de Lobos, Guanajuato.

Criterios	Organización	Servicios ambientales	Capacitación	Cultura	Ordenamiento racional	Cumplimiento de la ley
Económico						
Generación de empleo	0.75	0.90	0.75	0.80	0.60	0.70
Productividad	0.70	0.80	0.75	0.80	0.80	0.80
Costo	-0.50	-0.70	-0.60	0.20	0.80	0.80
Técnico						
Factibilidad	0.70	0.80	0.70	0.90	0.80	0.85
Social						
Equidad	0.85	0.70	0.60	0.90	0.85	0.80
Unidad	0.90	0.70	0.70	0.80	0.85	0.70
Bienestar	0.65	0.80	0.80	0.80	0.90	0.85
Ecológico						
Sustentable	0.70	0.86	0.70	0.90	0.90	0.95
Biodiversidad	-0.75	-0.70	-0.60	0.80	0.80	0.90
Protección de áreas naturales	-0.65	-0.60	-0.60	0.90	0.90	0.95

El fundamento del análisis multi criterio es asignar una calificación a las acciones de solución identificadas a fin de asignarles un orden jerárquico, para lo cual es necesario estandarizar los valores de calificación y asignar el “peso específico” a cada criterio (Cuadro 7.3). El grupo de decisión determinó el siguiente orden jerárquico a los criterios de evaluación:

1. Económico
2. Técnico
3. Social
4. Ecológico

Cuadro 7.3. Estandarización de valores de calificación para cada criterio y sub criterio.

	C/B ¹	Unidad ²	Método de estandarización ³	Valor mínimo	Valor máximo	Nivel de peso 1	Nivel de peso 2	Nivel de peso 3
Económico						0.521		
Generación de empleo	B	Directo	Intervalo	0.60	0.90		0.278	0.145
Productividad	B	Directo	Intervalo	0.70	0.80		0.611	0.318
Costo	B	Directo	Intervalo	-0.70	0.80		0.111	0.058
Técnico						0.271		
Factibilidad	B	Directo	Intervalo	0.70	0.90		1.000	0.271
Social						0.146		
Equidad	B	Directo	Intervalo	0.60	0.90		0.278	0.041
Unidad	B	Directo	Intervalo	0.70	0.90		0.111	0.016
Bienestar	B	Directo	Intervalo	0.65	0.90		0.611	0.089
Ecológico						0.063		
Sustentable	B	Directo	Intervalo	0.70	0.95		0.611	0.038
Biodiversidad	B	Directo	Intervalo	-0.75	0.90		0.194	0.012
Protección de áreas naturales	B	Directo	Intervalo	-0.65	0.90		0.194	0.012

¹En este apartado es necesario definir si el criterio es un costo (C) o un beneficio (B). En el primero se asume que mientras más se incrementa el valor es peor y en el segundo ocurre lo contrario.

² Se refiere a la manera en que se calificó, omitiendo unidades en escala de 0 a 1.

³ Se refiere a la escala de medición; es decir, la manera en que se determinan los valores en función del caso que se trate; estos valores pueden ser muy precisos o solo indicadores. Así, un efecto puede ser expresado en minutos o en toneladas y otro en términos cualitativos como más/menos etc. Para el presente caso se eligió "intervalo". En esta escala solo las diferencias entre efectos son significativas. Un ejemplo de esto es el argumento que 40 °C es dos veces más caliente que 20 °C lo cual es incorrecto. Sin embargo si se establece que la diferencia entre 20 y 40 °C es dos veces mayor que aquella entre 10 y 20 °C, es correcto (Sánchez *et al.*, 2008).

El método que se usó para el cálculo del peso específico de cada criterio de evaluación, de acuerdo al orden jerárquico que se le asignó, fue el de "Sumatoria Lineal Ponderada". Se aplicó la función "mas es mejor lineal" considerando el intervalo de calificación que se otorgó a cada acción en cada uno de los criterios.

RESULTADOS

La acción de solución *cultura* fue la mejor calificada, seguida de *cumplimiento de la ley y ordenamiento racional* (Figura 7.3). Los diferentes tonos en la barras dimensionan la contribución parcial de cada criterio en la calificación final. Para la alternativa *cultura* el criterio económico fue el que aportó más de la mitad en el resultado final. Los colores de la barra muestran que la contribución de los criterios *social* y *ecológico*, es pequeña debido a los bajos pesos específicos que el grupo de decisión les asignó.

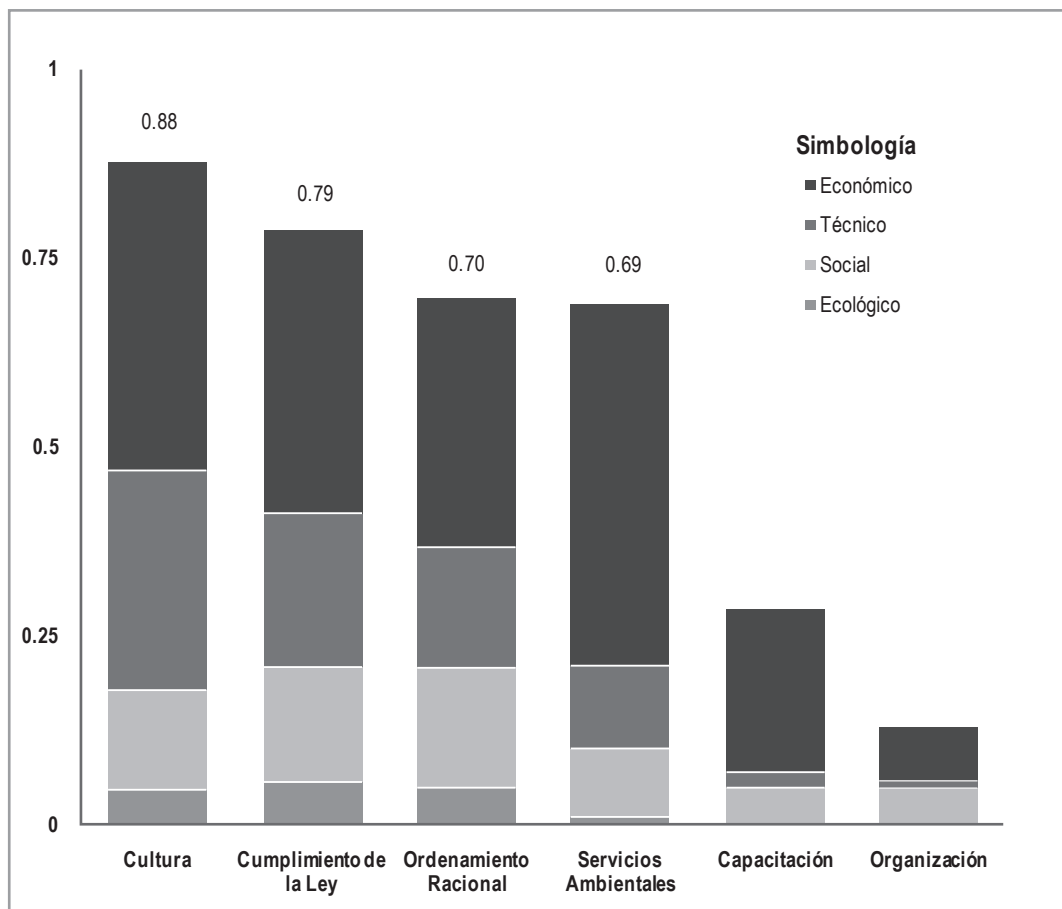


Figura 7.3. Resultados del análisis con base en los criterios de calificación.

Análisis de sensibilidad de la decisión

Para cada alternativa se consideró una variación del 10% en los resultados observados, por ejemplo, si el resultado de una alternativa fue de 0.8, al variar en 10% este valor, el rango es de 0.72 a 0.88. Las alternativas *cultura* y *servicios ambientales* mostraron la mayor variación respecto al resultado original, lo cual indica que esas alternativas presentarían mayor “sensibilidad” y que el resultado final es realmente incierto y depende del comportamiento de las otras alternativas. Las alternativas con menor sensibilidad son *ordenamiento racional* y *cumplimiento de la ley*; es decir, si los resultados

variaran en el porcentaje indicado, estas alternativas conservarían su posición jerárquica (Figura 7.4). Si se variaran conjuntamente en 10% el valor de los pesos y los resultados, la sensibilidad de las alternativas se incrementa y se modifica la posición jerárquica de las alternativas. La alternativa *capacitación* es la que se muestra más “robusta” y a la que se le debería consideración ante esta situación (Figura 7.5).

El análisis de sensibilidad es útil para cuantificar la manera en que variarían la posición de las alternativas en casos de que variaran el criterio de decisión, los pesos asignados o ambos. Así, el grupo participante puede anticipar cuál sería el mejor curso de acción en caso de que esto sucediera.

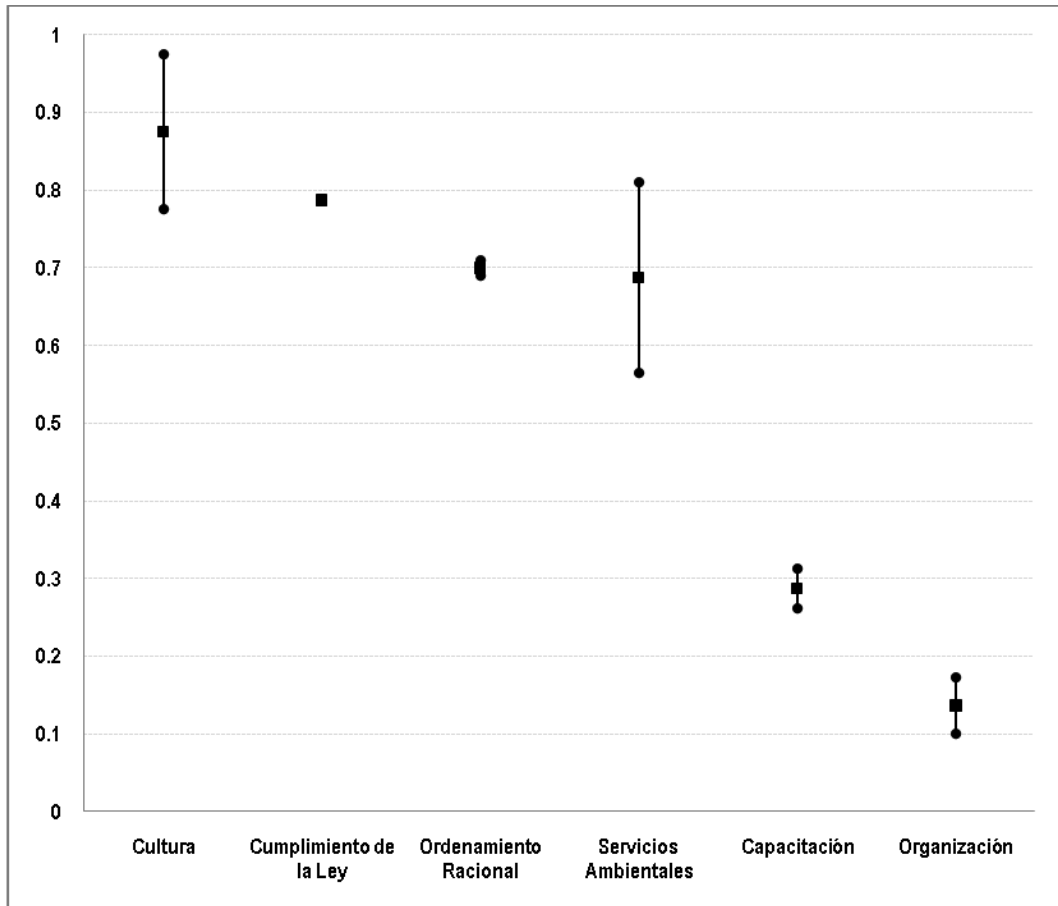


Figura 7.4. Análisis de sensibilidad de las alternativas al variar 10% los resultados.

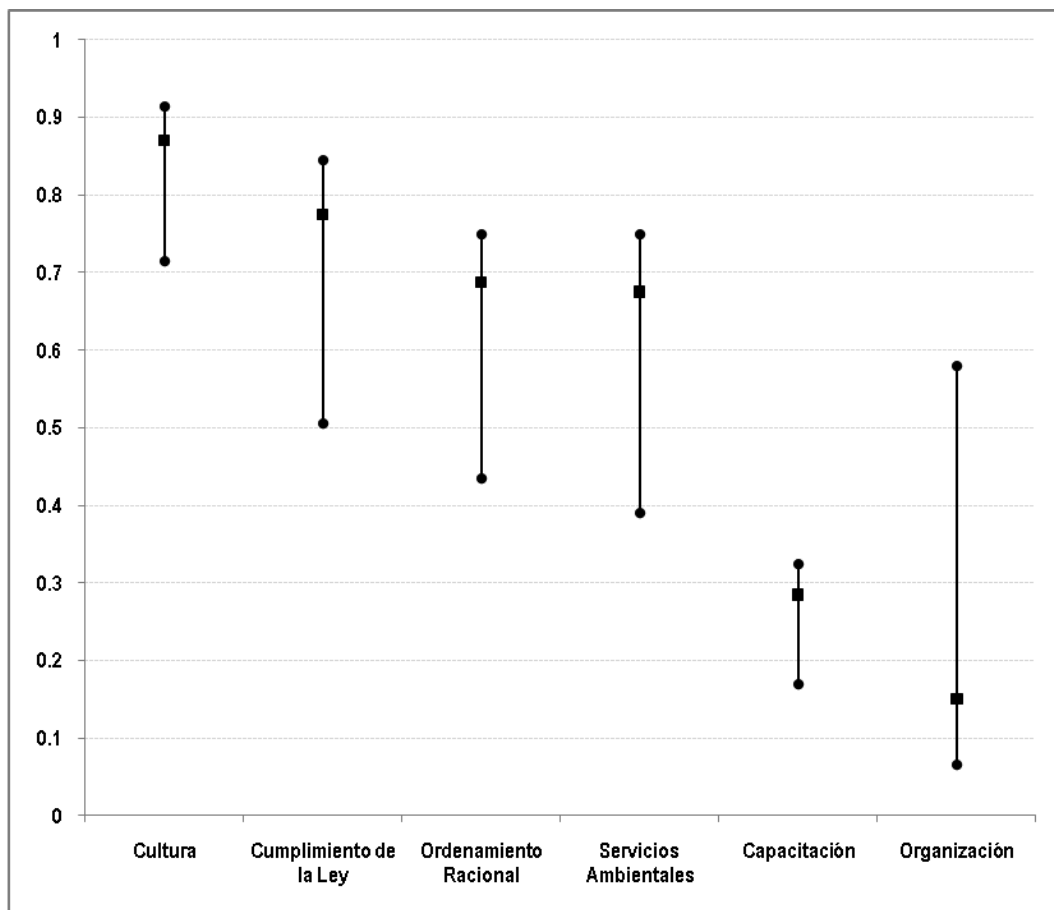


Figura 7.5. Análisis de sensibilidad de las alternativas al variar 10% los resultados y los pesos específicos asignados en forma simultánea.

Otra ventaja del análisis de sensibilidad es que permite verificar hasta qué punto la mejor alternativa permanece como tal al variar los pesos de los criterios; es decir, determinar cuál es el punto de inflexión en el valor del peso del criterio con el que la mejor alternativa cambia de posición jerárquica y es reemplazada por otra. A continuación se muestra la sensibilidad de las dos alternativas que resultaron con los más altos resultados (*cultura* y *cumplimiento de la ley*), al cambio del peso de los criterios.

La sensibilidad de las alternativas al modificar el valor de los criterios generación de empleo y factibilidad de 0.77 a 0.88 y de 0.85 a 0.91, respectivamente, mostró que *cumplimiento de la ley* es la mejor. Se observó que las alternativas *organización* y *capacitación*, no presentan sensibilidad al cambio en el peso del criterio generación de empleo (eje de las "x"); la alternativa *servicios ambientales* disminuye de valor cuando el peso del criterio alcanza 0.9. La alternativa *cumplimiento de la ley* mostró la mayor sensibilidad al cambio en el peso del criterio generación de empleo con dos puntos de inflexión: uno cuando el peso del criterio adquiere un valor de 0.6 a partir del cual los resultados se incrementan hasta alcanzar 0.88 (segundo punto de inflexión) (Figura 7.6).

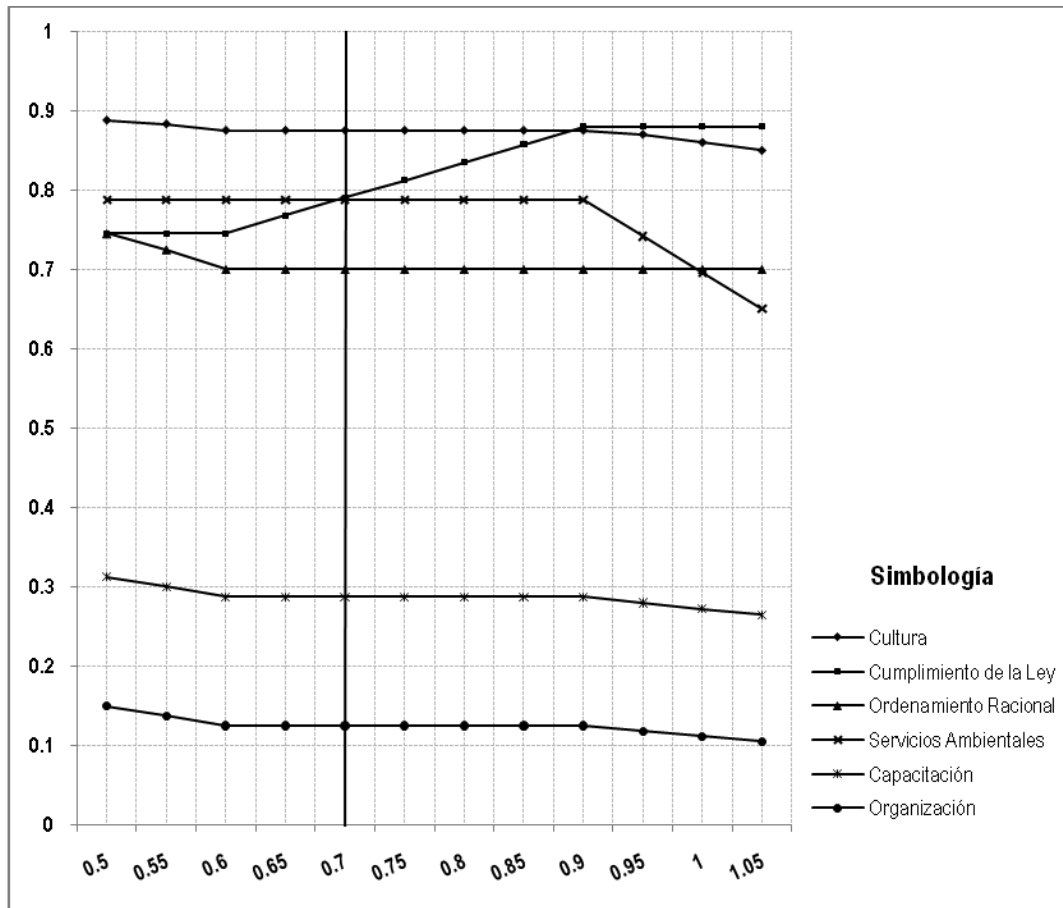


Figura 7.6. Sensibilidad de las alternativas al variar los criterios de generación de empleo y factibilidad.

Para el criterio factibilidad, las alternativas *capacitación* y *organización* no presentan sensibilidad cuando el peso del criterio alcanza un valor superior a 0.7. La alternativa *cultura* deja de ser la mejor opción cuando el criterio de factibilidad adquiere un valor de 0.91 y la alternativa *cumplimiento de la ley* se postula como la mejor opción. Por otro lado, si el criterio factibilidad adquiriera un valor inferior a 0.77, la alternativa *servicios ambientales* superaría a la alternativa *cumplimiento de la ley*. El valor actual del criterio es 0.85 (Figura 7.7).

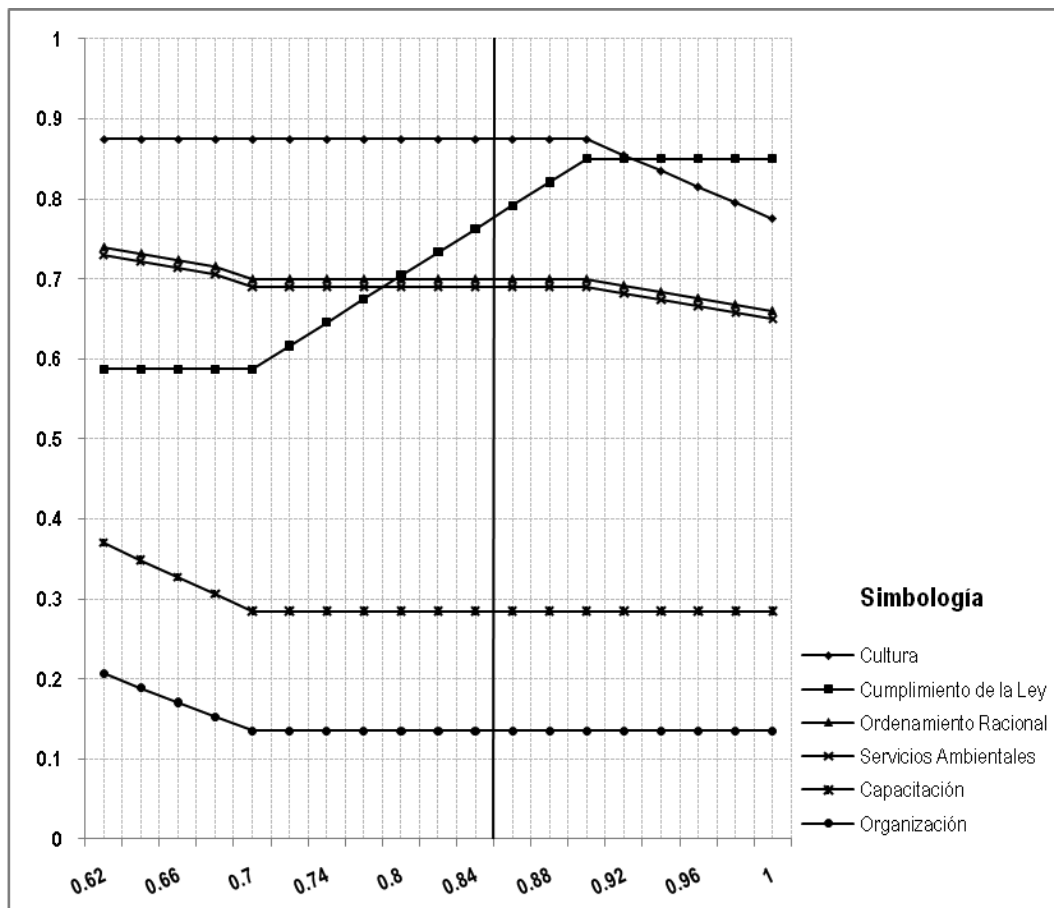


Figura 7.7. Sensibilidad de las alternativas al variar el criterio factibilidad.

Las alternativas *organización*, *capacitación*, *cumplimiento de la ley* y *servicios ambientales* presentan poca sensibilidad al cambio de peso en el criterio generación de empleo; sin embargo, la alternativa *cultura* es superada por *cumplimiento de la ley* hasta que el criterio alcanza un peso de 0.61 a partir del cual *cultura* supera a todas las alternativas (Figura 7.8).

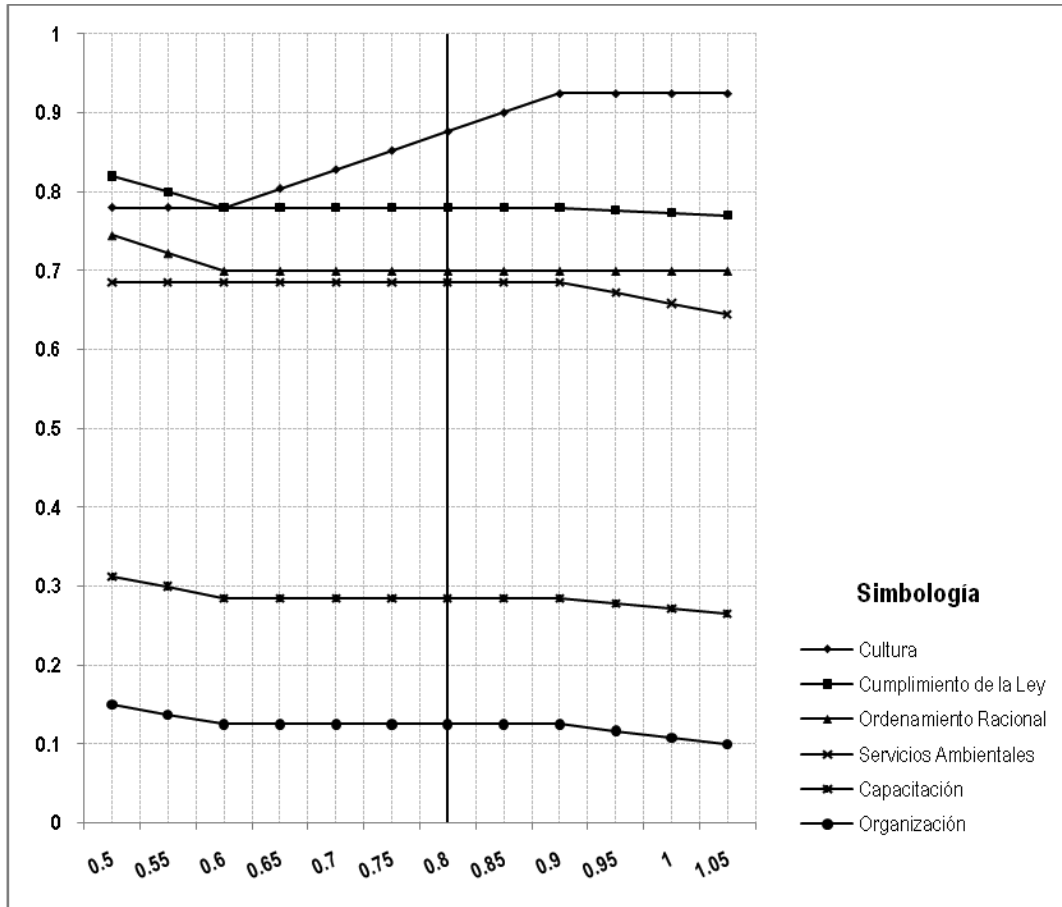


Figura 7.8. Sensibilidad de las alternativas al cambio de peso en el criterio generación de empleo.

Las alternativas *organización* y *capacitación* presentan mayor estabilidad que las restantes. Las alternativas *servicios ambientales*, *ordenamiento racional* y *cumplimiento de la ley* superan a *cultura* hasta que el criterio factibilidad alcanza un valor de 0.77 con el que la alternativa *cultura* supera a las alternativas *servicios ambientales* y *ordenamiento racional*. A partir de que el criterio factibilidad alcanza el valor de 0.84, la alternativa *cultura* supera a todas las demás (Figura 7.9).

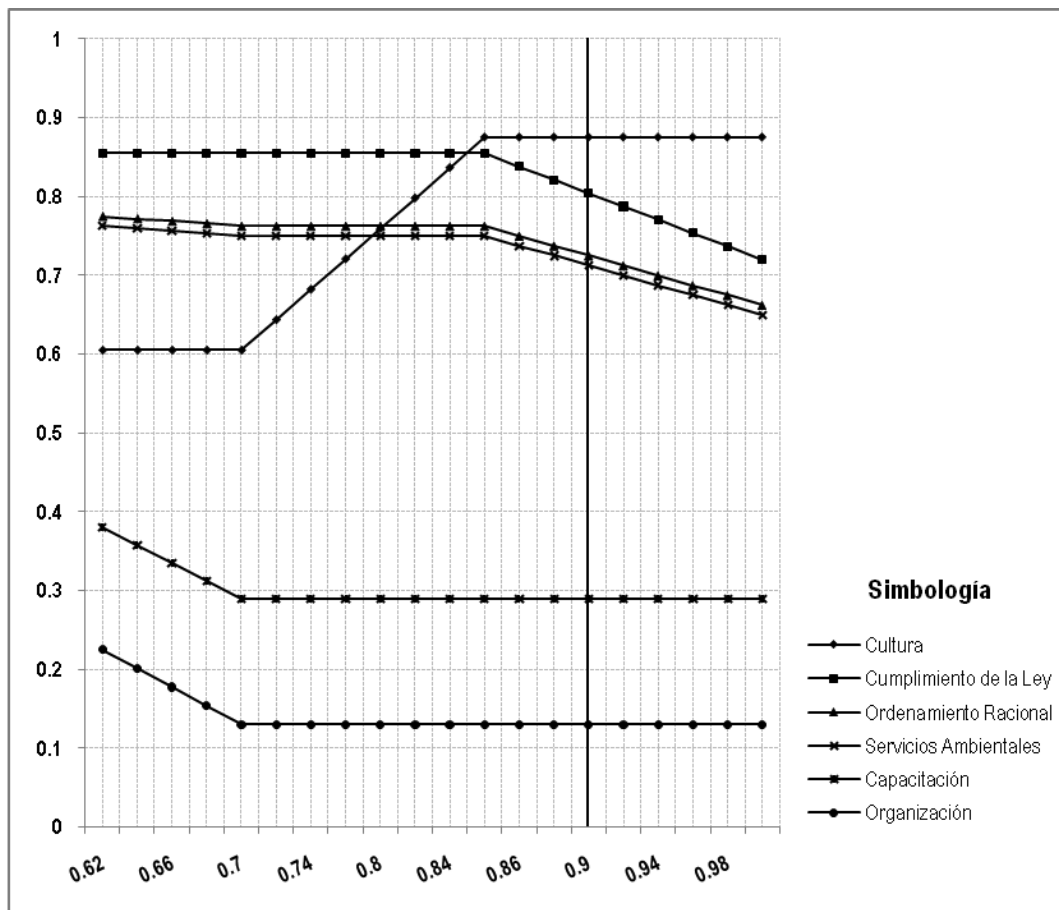


Figura 7.9. Sensibilidad de las alternativas al cambio de peso en el criterio factibilidad.

Para modificar los pesos de los criterios es necesario reordenarlos de acuerdo con las ecuaciones 1 y 2; esto es, rehacer el orden de importancia de los criterios. En este caso, el grupo de decisión concluyó que se daría más peso, en primera instancia, al criterio económico seguido del técnico, social y el ecológico. Para apreciar el cambio de las alternativas al variar estos pesos, se realizó el análisis en tres escenarios que varían el orden jerárquico de los cuatro criterios (Cuadro 7.4). El permutar el orden de los criterios implica cambiar el peso relativo de cada uno de ellos para cumplir con las ecuaciones 1 y 2 en las que una condición necesaria es que:

$$w_1 > w_2 > w_n \quad 3$$

Donde “w” representa el peso de acuerdo al orden jerárquico impuesto en el escenario.

Cuadro 7.4. Escenarios ensayados en relación a la jerarquía de los criterios.

Escenarios	Orden de criterios
1	Económico
	Técnico
	Social
	Ecológico
2	Ecológico
	Social
	Técnico
	Económico
3	Técnico
	Ecológico
	Económico
	Social

En el escenario 2 (respecto al 1), el cambio del criterio económico por ecológico causa que la alternativa *cultura* pase de ser la primera a ser la segunda y la alternativa *servicios ambientales* pase de la cuarta posición a la primera. El cambio en el orden de las alternativas al sustituir el criterio ecológico por el técnico (escenario 3) no modifica el orden de las alternativas respecto al escenario 2. Este análisis es útil para determinar la mejor alternativa en función del criterio con que se tome la decisión. Con base en lo anterior, si se toma la decisión con criterio ecológico, la mejor alternativa es *cultura*; de igual manera, si se tomara la decisión con criterio económico la mejor alternativa sería *servicios ambientales*. Es importante señalar que estos son “criterios compuestos” ya que involucran otros sub criterios (Figura 7.10).

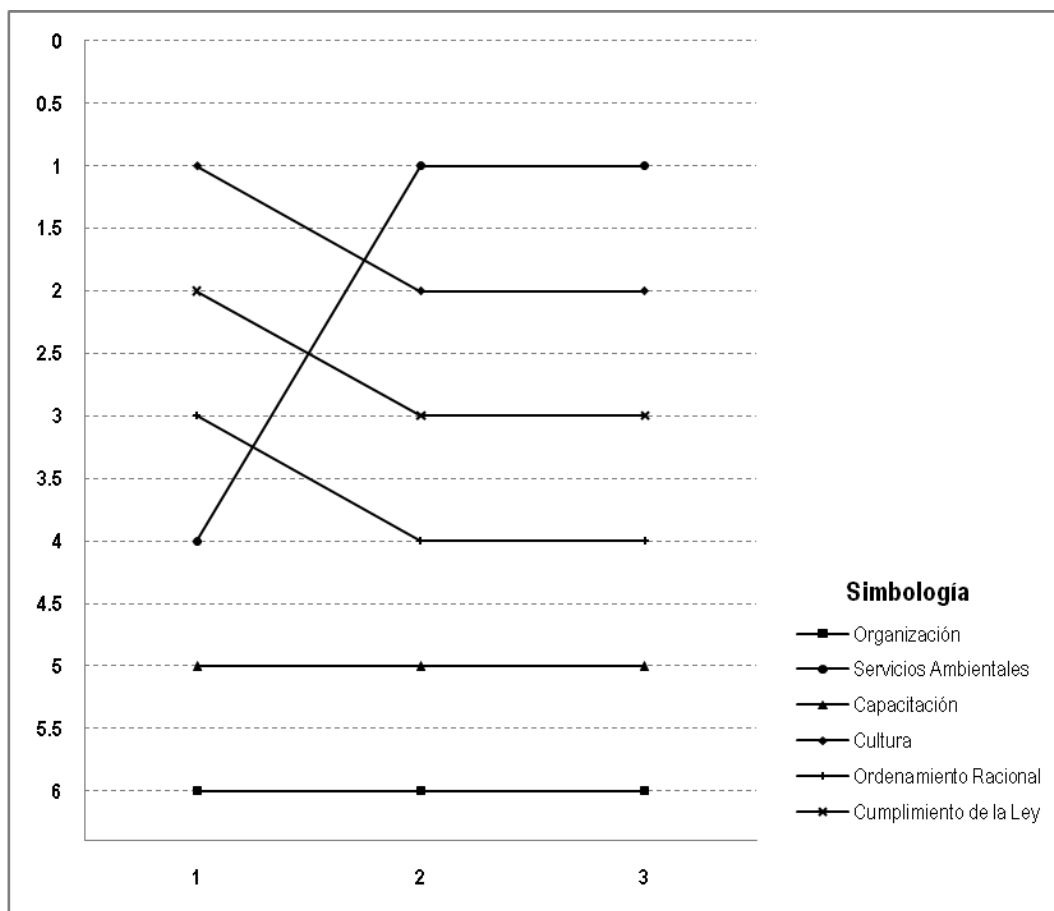


Figura 7.10. Preferencia de las alternativas en función del cambio en el orden jerárquico de los criterios en tres escenarios.

En el caso de que algunas alternativas resulten inferiores a otras, el modelo de análisis multivariado no las descarta de la plataforma de decisión; más aún, si la mejor alternativa presentase dificultades (no previstas) en su implementación, es posible retomarlas como opciones.

COMENTARIOS FINALES

Los sistemas de apoyo para la toma de decisiones no aportan recomendaciones específicas para la solución de un problema; sino que, permiten identificar y jerarquizar las opciones o alternativas de solución adecuadas a los intereses de los usuarios. Los modelos existentes se han desarrollado para diferentes propósitos, por lo que para seleccionar el más adecuado, es importante definir con precisión el problema central y contar con información de calidad sobre el tema de estudio.

De acuerdo con la opinión de los participantes en el grupo de decisión, manifestada a través de las calificaciones asignadas, las acciones de solución *cultura* y *cumplimiento de la ley* son de aplicación inmediata. Sin embargo, a pesar de la ponderación asignada, educar a la sociedad en los principios básicos del aprovechamiento sustentable de los recursos naturales no es una actividad

con respuesta inmediata, por lo que se sugiere la incorporación de temas sobre conservación del medio ambiente en los programas de educación básica y media y entre los habitantes de la *Sierra de Lobos* y la sociedad en general. También, es pertinente considerar la *capacitación* como una acción que puede favorecer las de *cultura y cumplimiento de la ley*.

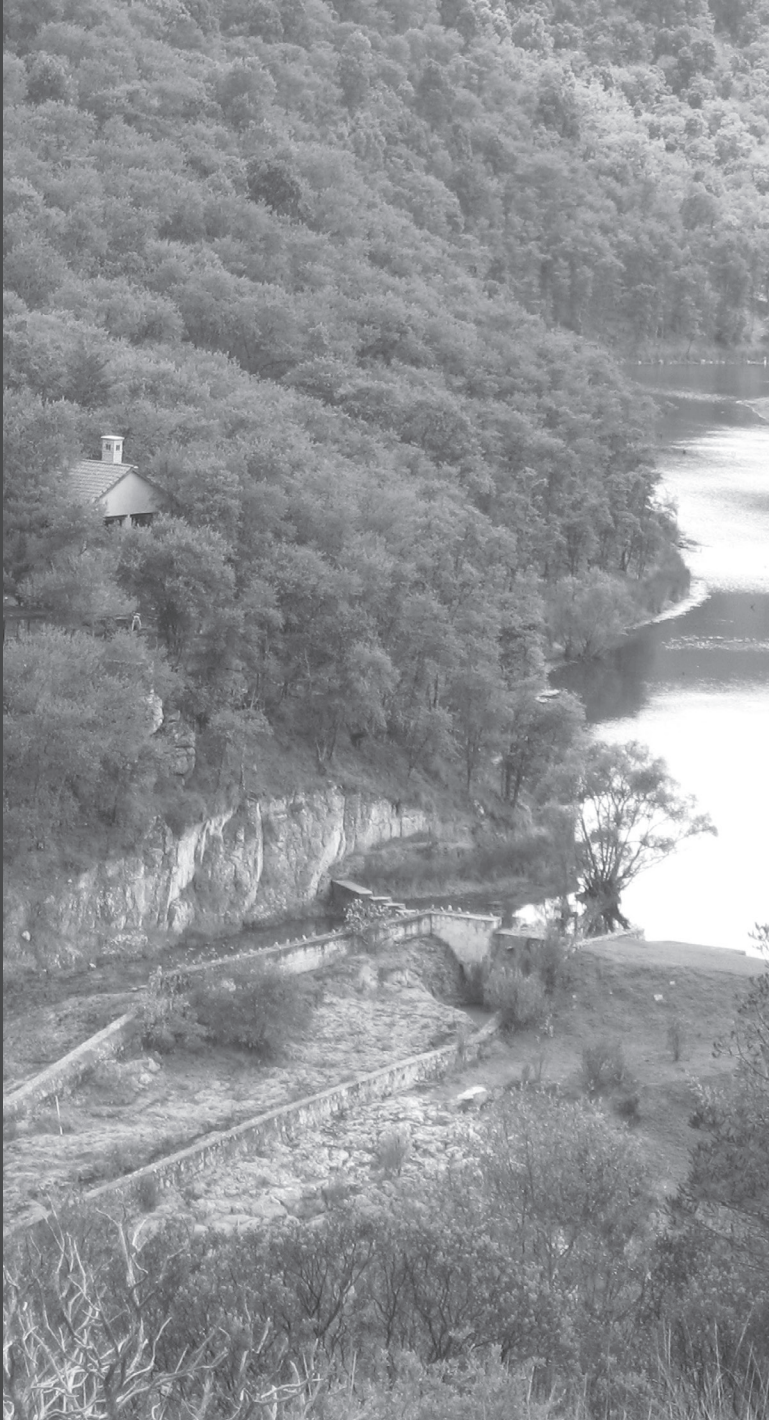
La observancia de la ley en materia de aprovechamiento y conservación de los recursos naturales debe ser atendida por las instancias correspondientes en colaboración con las organizaciones de los usuarios.

LITERATURA CITADA

- Bonczek, R. H., C. W. Holsapple and A. B. Whinston. 1981. Foundations of decision support systems. Academy Press, N Y. 393 p.
- Densham, P. J. and M. F. Goodchild. 1988. Spatial decision support systems: A research agency. GIS/LIS'88 Proceedings. Volume No 2. Bethesda, Maryland: American Congress on Surveying and Mapping. December 2, 1988. 980 p.
- Dourojeanni, A. 2000. Procedimientos para el desarrollo sustentable. Naciones Unidas, CEPAL, ECLAC. División de Recursos Naturales e Infraestructura. Santiago de Chile. 372 p.
- Finlay, P. N. 1994. Introducing decision support systems. Oxford, UK Cambridge, Mass., NCC. Blackwell Publishers. 274 p.
- Felix, F. M. 2004. Sistemas de soporte a la decisión (DSS) y sistemas inteligentes aplicados en las empresas mexicanas. Disponible en internet en: <http://www.gestiopolis.com/canales2/gerencia/1/ddsmara.htm>. (Mayo de 2010).
- Gómez D., M. y J. I. Barredo C. 2006. Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio. 2ª edición. Madrid, España. 250 p.
- Heilman, P., J. Stone, I. Sanchez C., H. Macias R. and R. S. Man, 2006. Working Smarter: In: Modeling and Remote Sensing Applied to Agriculture (US and Mexico). Richardson, C., A. Baez, and M. Tiscareño. Eds. 250 p.
- Holsapple, C. W. and A. B. Whinston. 2001. Decision Support Systems: A knowledge Based Approach. Thompson Learning / Delmar Publishers, Stanford, CT. 960 p.
- Janssen, R., M. Van Herwinjen and E. Beniat. 2006. Definite 3.1. Institute for Environmental Studies Universit eit Amsterdam. 226 p.
- Keen, P. G. W. 1980. Decision support systems: a research perspective. Decision support systems: issues and challenges. G. Fick and R. H. Eds. Sprague Oxford, New York. Pergamon Press. 190 p.
- Keen, P. G. W. and M. S. Morton. 1978. Decision Support Systems: An Organizational Perspective. Addison – Wesley, Reading, MA. USA. 264 p.

- Korschgen, C. E., M. G. Knutson, T. J. Fox, L. Holland-Bartels, H. C. Dehaan, Ch. H. Theiling, J. J. Rohweder, K. Kenow, L. E. Leake and T. Will. 2002. Natural Resource Assessment and Decision Support Tools for Bird Conservation Planning. Disponible en Internet en: http://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw_gtr191/psw_gtr191_1213-1223_korschgen.pdf. (Mayo de 2010).
- Lawrence, P. A.; J. Robinson and R. Eisner, 2001. A decision environment: Going beyond a decision framework to improve the effectiveness of decision making in natural resource management. p. 1613-1618. *In*: Ghassemi F. *et al.* (ed.) Int. Congr. on Modeling and Simulation (MODSIM 2001) Canberra, ACT, Australia. Dec. 10-13, 2001
- Loucks, D. P. and E. Van Beek. 2005. Water Resources Systems Planning and Management. The United Nations Italy. 680 p.
- Marakas, J. M. 2003. Decision Support Systems in the 21st Century. 2nd ed. Disponible en Internet en: <http://myphlip.pearsoncmg.com/cw/mpbookhome.cfm?vbookid=403> (Abril de 2010). Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Peniwati, K. 1995. The Possibility Theorem for Group Decision Making: The Analytic Hierarchy Process, Ph.D. Thesis, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA. 130 p.
- Saaty, T. L. and Vargas, L. G. 1984. Comparison of eigenvalue and logarithmic least squares and least squares methods in estimating ratios. *Mathematical modeling*. Vol. 5, pp.309-324.
- Saaty, T. L. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures, *J. Math. Psychology* 15 (3), 234-281.
- Saaty, T. L. 2006. A Framework for Making a Better Decision. *Research Review*. University of Pittsburg, Katz School of Business. Vol. 13 No. 4 pp.
- Sánchez C., I., H. Macías R., P. Heilman, G. González C., S. F. Mendoza M., M. A. Inzunza I. y J. Estrada A. 2006. Planeación Multiobjetivo en los Distritos de Riego de México. Aplicación de un sistema de Auxilio para la Toma de Decisiones. *Ingeniería Hidráulica en México*. Vol XXI, núm. 3 pp 101-111.
- Sánchez C., I., J. Estrada A. y J. A. Cueto W. 2008. Toma de decisiones en grupo para el manejo de los recursos naturales. Métodos de análisis y criterios de selección. Folleto Científico No. 24. INIFAP CENID-RASPA. 73 p.
- Sánchez C., I., G. Díaz P., J. L. González B. and O. Spring, U. 2010. Integrated Management of Water in Hydrological Basins. Multidiscipline and Multi institutionality as an Action Paradigm. *In*: Water Research in Mexico. Scarcity, Degradation, Stress, Conflicts, Management and Policy. Springer. Book in press.
- Sánchez C., I., G. Díaz P., and G. Esquivel A. 2009. The Impact of Climate Variability on Society and Productivity in Mexico. *In*: Climate Change and Health United States – Mexico Border. Jenkins, J. and J. E. Iturralde Eds. Panamerican Health Organization. pp. 71 – 84. Quito Ecuador.
- Sprague, R. H. and E. D. Carlson. 1982. Building effective Decision Support Systems. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, Inc. 304 p.

- Sprague, R. H. and H. J. Watson. 1996. Decision Support for Management. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc. 490 p.
- Turban, E. and J. E. Aronson. 2000. Decision Support Systems and Intelligent Systems. 6th ed. Disponible en internet en <http://cwx.prenhall.com/bookbind/pubbooks/turban2/>. (Mayo de 2010). Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. 912 p.
- Turban, E. 1995. Decision support and expert systems: management support systems. Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall. 936 p.
- Yakowitz, D. S., L. J. Lane and F. Szidarovsky. 1993. Multi-attribute decision making: dominance with respect to an importance order of attributes. Applied Mathematics and Computation. 54:167-181.



SÍNTESIS

SÍNTESIS

A partir del análisis de la información sobre el estado que guardan los recursos naturales en la región y considerando los resultados del proceso de toma de decisiones utilizado, se identificaron las siguientes acciones encaminadas a revertir el deterioro de los recursos naturales en la región:

ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

En el contexto social, el hecho de que el 92% de la población resida en zonas urbanas es una ventaja que facilita las acciones de capacitación y transferencia de tecnología en el valle de León; sin embargo, el nivel educativo y la edad de los productores particularmente en la *Sierra de Lobos* puede ser una limitante. Las acciones enfocadas a fortalecer la cultura ambiental se deben dirigir a las nuevas generaciones de productores, particularmente las relacionadas con el agua subterránea y las zonas de recarga.

El crecimiento demográfico, principalmente en el valle de León sugiere que en el mediano plazo, se incrementará la presión sobre los recursos naturales en esta región. Lo anterior, aunado al bajo uso de tecnología en las actividades agrícolas, indica que la productividad económica del agua disminuirá y en consecuencia se incrementará la demanda de este recurso.

Con base en los niveles de ingreso de los productores, es evidente que la efectividad de las acciones que se implementen para mejorar el aprovechamiento de los recursos naturales en la región dependerá del beneficio económico directo a corto plazo que reciban los productores. La productividad económica del agua en comparación con la industrial, es muy baja. Por lo anterior, es probable que en corto plazo la actividad agrícola de riego con agua subterránea sea sustituida por agua residual tratada, a fin de que el agua del subsuelo sea utilizada para uso urbano e industrial.

En la *Sierra de Lobos*, la actividad pecuaria es la que se desarrolla con mayor intensidad en comparación con la agrícola y la forestal. No obstante, que el manejo y cuidado de los hatos de bovinos se lleva a cabo prácticamente sin tecnología ni asistencia técnica. Para disminuir el deterioro de los recursos forestales y disminuir la erosión del suelo, es conveniente reglamentar esta actividad, particularmente en el área natural protegida.

En general, el grado de tecnificación de la agricultura que se desarrolla en el valle de León es bajo. Algunos cultivos hortícolas como la papa, ajo y cebolla podrían ser los más rentables ante una situación de escasez de agua; sin embargo, estos cultivos requieren alto costo de inversión y están sujetos a variación en precio. Los cultivos intensivos como maíz, sorgo y cebada pueden mejorar la productividad del agua hasta en 20% si se incorporan tecnologías apropiadas.

AGUA SUBTERRÁNEA

Las aguas subterráneas más recientes se localizan en el área próxima al antiguo aeropuerto, al oriente de la ciudad de León. Estas aguas ingresaron al acuífero probablemente durante las décadas de 1960 y 1970. En las áreas al oriente del valle de León (La Muralla y Santa Ana del Conde) el agua subterránea es de reciente ingreso 40 – 50 años; sin embargo, en el sur de esta área la edad oscila entre 600 y 1000 años. El agua con antigüedad de 2500 a 9000 años se ubica en las rocas volcánicas del flanco montañoso al oeste de la ciudad de León (AL-02 y AL-03: pozos 4 poniente y 21 poniente de SAPAL) y en algunos sitios diseminados tanto en la ciudad de León (AL-01: pozo FEMSA C) como en el valle (AL-16 y AL-17: pozos 4 sur de SAPAL y L0045 en el poblado de Duarte).

Las acciones que se derivan de los resultados de este estudio tienen implicaciones regionales que se describen a continuación:

En el área oriente de la ciudad de León, desde “Los Castillos” hasta la población de “Duarte”, las actividades productivas (urbanas, agrícolas, pecuarias, industriales u otras) deben ser reguladas para salvaguardar las vías hidrogeológicas preferenciales que se localizan en los abanicos aluviales que descienden desde el flanco suroeste de la *Sierra de Lobos* y que pueden transportar, con relativa facilidad y rapidez, hasta las reservas de agua subterránea, los contaminantes más móviles y recalcitrantes que se descarguen en la superficie del suelo. Esta área debe ser clasificada como una de las zonas más vulnerables, desde el punto de vista hidrogeológico y tomar las precauciones necesarias para mantener su saneamiento. Estos resultados coinciden con los reportados por la CEASG en 2002 en los que se considera al oriente de la ciudad de León como una de las dos zonas de riesgo más vulnerables (zona R2 y R3).

La vertiente suroeste de la *Sierra de Lobos* que baja hasta los abanicos aluviales cercanos a las poblaciones de: Los Castillos, Ojo de Agua de los Reyes, Ibarillas, Los Naranjos, Alfaro, San José del Potrero, San Nicolás de González, San Juan de Otates, La Laborcita y Duarte, debe ser protegida en cuanto a la reforestación, cambio de uso del suelo, erosión y la conservación de los materiales pétreos y minerales ya que la condición biofísica en que se encuentre esta vertiente condiciona de manera importante el volumen y la calidad del agua superficial que recarga las reservas de agua subterránea. En la vertiente suroeste de la *Sierra de Lobos* se podrían cuantificar con precisión los volúmenes de agua renovable que determinan el balance hidrológico y la disponibilidad de agua en la región.

Los planes de desarrollo económico de la región deberán tomar en cuenta que las fuentes del agua subterránea más renovable se ubican al oriente de la ciudad de León, donde el crecimiento industrial y los proyectos de desarrollo urbano e industrial podrían afectar la calidad de este recurso.

ANÁLISIS HISTÓRICO DE LA PRECIPITACIÓN

A partir del estudio dendrocronológico de dos especies, *Taxodium mucronatum* y *Pinus cembroides*, se generaron series de tiempo con extensión cercana a 250 años para el estado de Guanajuato y los estados aledaños de Michoacán y Querétaro. La reconstrucción estacional de la precipitación invierno-primavera (enero-mayo) del período 1770 - 2007 (238 años) se elaboró para la región centro-sur de Guanajuato; mientras que para el noroeste del estado se generaron dos reconstrucciones marzo-septiembre y anual (enero-diciembre) con extensión de 208 años (1790-2007) y 158 años (1850-2007), respectivamente.

La reconstrucción de los períodos secos y húmedos coincidió con los eventos históricos documentados en el estado de Guanajuato. Por otra parte, la reconstrucción del flujo fluvial estacional julio-diciembre, en un lapso de 238 años (1770 a 2007) para la cuenca Río Lerma y la corriente del río Turbio, mostró la ocurrencia de períodos secos y húmedos relacionados, en algunos años, con eventos intensos de patrones atmosféricos circulatorios.

El análisis del efecto histórico del fenómeno El Niño sobre la precipitación en el estado de Guanajuato y en consecuencia sobre la producción y productividad de los cultivos de temporal, mostró alta inconsistencia, solo los eventos de alta intensidad de este fenómeno tuvieron influencia sobre los índices de crecimiento de las especies utilizadas en la dendrocronología.

El fenómeno Monzón de Norteamérica que explica una alta proporción de la precipitación de verano en el país, no mostró influencia marcada en la variabilidad de las cronologías observadas en el estado de Guanajuato.

En general, la reconstrucción de la precipitación indica que en el estado de Guanajuato se presentan periodos cíclicos de baja precipitación que afectan las actividades agropecuarias y períodos de alta precipitación que causan inundaciones en las partes bajas (áreas cada día más pobladas). Es de destacar que solo cuando El Niño se presenta con alta intensidad puede tener efecto significativo en la región, por lo que no es posible anticipar sobre la precipitación que pudiera ocurrir con base en la presencia de este fenómeno a menos que se tome en cuenta su intensidad.

EDAFOLOGÍA-USO DEL SUELO

Los suelos dominantes en el área de estudio son Phaeozem y Litosoles, en su mayoría ubicados en pendientes entre 15 y 40% lo que los hace susceptibles a la erosión hídrica. Las fases físicas y la proporción de la superficie en la que se encuentran: Lítica 39%, Pedregosa 31%, Lítica profunda 15%, Dúrica 13% y Gravosa 2%, por sus características, estas fases limitan el desarrollo de agricultura mecanizada.

En las localidades de Nuevo Valle de Moreno, Los Alisos, San José de Otates Norte y Sur, Ibarra y Buenos Aires se presenta la degradación del suelo más intensa. Las obras para disminuir la erosión y detener el avance de las cárcavas y evitar el azolve de las presas en la parte baja de la cuenca deben priorizar estas áreas.

El 30% de la superficie la cubren pastizales y agricultura de temporal en terrenos con pendiente entre 15 y 40%, con alto riesgo de erosión. Esta problemática se acentúa debido a que el cambio de uso se está dando en las unidades de suelo con menor estabilidad estructural.

Las principales causas de degradación del suelo son la deforestación, el cambio de uso y el sobre pastoreo. La ampliación de la superficie dedicada a la actividad agrícola de riego y temporal hacia áreas ocupadas originalmente por matorrales, el incremento del área con pastizales cultivados y naturales y la disminución de la superficie de los bosques de encino, debida a la tala con fines de obtención de combustible y al avance de la agricultura de temporal y pastizales inducidos.

La superficie agrícola se redujo 13.8% en el periodo 1976-2007; sin embargo, la de pastizales naturales e inducidos se incrementó 11.8%; en contraste, la superficie de matorral incrementa en 1.8%. Este proceso de cambio de uso de suelo posiblemente afecte otros procesos que ocurren en la cuenca como la recarga del acuífero e incrementa las pérdidas de suelo por erosión hídrica.

Para evitar el cambio de uso del suelo, particularmente en las áreas con bosque de encino, se deben privilegiar las acciones encaminadas a evitar la tala de esta especie y la reforestación de las áreas con pendientes superiores a 25%.

Tomando en cuenta que la actividad pecuaria se ha incrementado y que el número de bovinos se ha incrementado, es importante capacitar a los productores en la tecnificación del manejo de los pastizales a fin de evitar el sobre pastoreo y su efecto en la erosión.

DINÁMICA Y APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS FORESTALES EN LA SIERRA DE LOBOS, GUANAJUATO

Las actividades agrícolas, pecuarias y forestales causan desequilibrio ecológico en la mayoría de los ecosistemas lo que se hace evidente en la disminución de la cubierta vegetal y la erosión del suelo.

En la vertiente sur de la *Sierra de Lobos*, la agricultura y la ganadería son las actividades con mayor impacto sobre los recursos naturales. La baja rentabilidad de la agricultura y la actividad ganadera causa el abandono de tierras y sobrepastoreo con el consecuente deterioro del suelo y alteración de la cubierta vegetal.

En el periodo de 1970 a 2007 aproximadamente 6,642 ha cambiaron de uso, debido principalmente a la reducción de la superficie agrícola y al incremento en la de pastizales inducidos, lo que indica que en el futuro, la actividad pecuaria ejercerá mayor presión que la agricultura y el aprovechamiento forestal sobre los recursos naturales.

Las plantaciones forestales tendrían un impacto favorable en la conservación del suelo y agua, para lo cual, es necesario implementar programas de reforestación en el que se incluya: selección de especies, colecta de semilla, producción de planta, preparación del terreno y plantación, así como el manejo posterior.

Con base en la dinámica de cambio de uso del suelo y la vegetación, se proponen las siguientes acciones:

Cultura forestal. Fomento a la cultura forestal y el cuidado del medio ambiente, orientada a mejorar el nivel de conciencia de los pobladores respecto a la importancia del aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.

Aprovechamientos forestales. El aprovechamiento de pastos, especies maderables y no maderables, se deben sujetar a las disposiciones técnicas legales vigentes bajo el principio de sustentabilidad.

Vigilancia forestal. La extracción ilegal de leña, "tierra de hoja" y la elaboración de carbón para venta, en las áreas cubiertas con encino se podría evitar con la implementación de brigadas de vigilancia y puntos de control forestal.

Asistencia técnica. Capacitación de productores, técnicos de campo, autoridades y prestadores de servicios técnicos sobre los temas elementales del manejo forestal.

Sanidad forestal. Capacitación de técnicos y productores sobre el control de plantas parásita de los géneros *Thillandsia* y *Arceuthobium* que afectan áreas extensas de arbustivas.

Captura de agua. En la vertiente sur de la *Sierra de Lobos* se localizan siete microcuencas hidrológicas cuyas aguas fluyen a las presas que abastecen a la ciudad de León; por lo tanto, existe potencial para desarrollar el mercado de servicios ambientales hidrológicos.

Captura de carbono. Se propone desarrollar proyectos para determinar la oferta de servicios ambientales por captura de carbono con la participación de los productores y apoyo de la Comisión Nacional Forestal o las organizaciones internacionales *Bio Carbon Fund*, Banco Mundial, *European Carbon Fund*, GG-CAP y Programa Finlandés JI/MDL, entre otros.

Ecoturismo. Para diversificar las actividades de los productores se propone la implementación de proyectos ecoturísticos funcionales, así como nuevos servicios, los que además pueden contribuir a la conservación de los recursos naturales, generar empleos y beneficios económicos a través de la creación de medianas, pequeñas y micro-empresas turísticas.

SISTEMA DE APOYO PARA TOMA DE DECISIONES

Los sistemas de apoyo para la toma de decisiones son una herramienta que permite identificar y jerarquizar las mejores prácticas para el manejo integrado de los recursos naturales en una región. En el proceso de construcción, el sistema de apoyo integra los puntos de vista y la experiencia de los participantes a través del grupo de decisión con base en el desarrollo económico y la equidad en una plataforma que permite la toma de decisiones consensuadas.

Con base en criterios económicos, técnico, sociales y ambientales (en ese orden), el grupo de decisión determinó que las acciones prioritarias para el manejo sustentable de los recursos naturales en la *Sierra de Lobos* son *cultura y cumplimiento de la ley*.

La falta de cultura ambiental entre los habitantes de la región, es la causa principal del deterioro de los recursos naturales, principalmente, el desconocimiento del estado que guardan los recursos naturales y el perjuicio que causa el deterioro sobre el bienestar de la sociedad en general. El desarrollo de la cultura ambiental es una labor de educación que se debe realizar desde temprana edad; no obstante, el no llevarse a cabo representa diferir el cambio de actitud de la población hacia la conservación del ambiente.

La implementación de una sala Interactiva y la promoción y fortalecimiento de foros locales y regionales con la misión de difundir la cultura ambiental a través recomendaciones prácticas sobre el aprovechamiento y conservación de los recursos naturales, ahorro de agua y energía, fomentar la discusión sobre el estado que guardan los recursos naturales en la zona a través de reuniones con la participación de expertos, difundir los temas de: consumo y productividad del agua por sector, disponibilidad, calidad y contaminación.

Promover la participación activa de los habitantes de la *Sierra de Lobos*, organizaciones no gubernamentales, empresas y autoridades responsables en la aplicación de las leyes sobre aprovechamiento y conservación de los recursos naturales. Dar seguimiento al cumplimiento de las leyes vigentes y participar en los planes de desarrollo urbano, el cambio de uso del suelo y en los estudios de impacto ambiental correspondientes.

GLOSARIO

- Abanicos aluviales.** Son depósitos de detritos clásticos, que vistos en planta presentan formas características cónicas. Este tipo de sistemas se desarrollan en las zonas aledañas a las porciones que delimitan los escarpes de altos morfológicos, en donde el aporte de sedimentos es mucho mayor y las corrientes son confinadas a valles angostos que se tienen dentro de una cuenca adyacente. Son particularmente comunes en regiones áridas o semiáridas en donde la vegetación es escasa y el transporte de sedimentos ocurre esporádicamente pero con gran violencia durante las tormentas. También llegan a desarrollarse en regiones húmedas, incluyendo en zonas de glaciales, en donde los procesos de canalización son más importantes.
- Acuífero anisotrópico.** Se refiere a cuando la conductividad hidráulica de un punto en un acuífero varía con la dirección.
- Acuífero libre.** Zona subterránea natural donde el nivel estático se encuentra a la presión atmosférica. Los materiales que se encuentran por encima del nivel estático son permeables.
- Afluente.** Río o arroyo que no alcanza el mar sino que desemboca en otro río principal o en otro afluente al que alimenta con su caudal.
- Antropogénico.** El término antropogénico se refiere a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas a diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana. Normalmente se usa para describir contaminaciones ambientales en forma de desechos químicos o biológicos como consecuencia de las actividades económicas, tales como la producción de dióxido de carbono por consumo de combustibles fósiles.
- Banco de material.** Sitio determinado para la extracción de materiales para la construcción o conservación de una obra.
- Biodiversidad.** Se refiere en general a la variabilidad de la vida; incluye los ecosistemas terrestres y acuáticos, los complejos ecológicos de los que forman parte, así como la diversidad entre las especies y dentro de cada especie.
- Capa temática.** Estrato con información temática (topografía, ecología, edafología infraestructura, etc) y que es parte de un Sistema de Información Geográfica (GIS).
- Cata.** Es una obra minera de carácter exploratorio de la que no se han podido obtener productos minerales con rendimiento económico.
- Cuenca.** Área de la superficie terrestre por donde el agua de lluvia escurre y transita o drena a través de una red de corrientes que fluyen hacia una corriente principal y por ésta hacia un punto común de salida. Territorio rodeado de montañas por el que corre un gran río con afluentes (ríos más pequeños o arroyos que lo alimentan) o existe un lago donde éste desemboca. En una cuenca pueden existir obras creadas por el hombre para aprovechar el agua, tal es el caso de las presas, como Chicoasén en la cuenca del río Grijalva.
- Datación.** Se pueden mencionar dos tipos de dataciones: la datación relativa; significa que las rocas se colocan en una secuencia de formación adecuada. Mediante este método no se puede establecer una fecha precisa pero si se puede obtener lo que sucedió antes o después de un acontecimiento. Y la datación absoluta; mediante esta es posible obtener fechas

absolutas, fiables para los acontecimientos del pasado geológico. Son los métodos que proporcionan edades numéricas.

Dique. Filón de roca volcánica que atraviesa verticalmente varias capas de la corteza terrestre y a veces puede sobresalir por encima de la superficie, formando una especie de muro o pared.

Echado. Es el ángulo de inclinación de una superficie medida con respecto a la línea horizontal.

Eingenectores. Son los vectores no nulos que, cuando son transformados por el operador, dan lugar a un múltiplo escalar de sí mismo, con lo que no cambian de dirección.

Falla. Una falla es una grieta en la corteza terrestre. Generalmente, las fallas están asociadas con, o forman, los límites entre las placas tectónicas de la Tierra. En una falla activa, las piezas de la corteza de la Tierra a lo largo de la falla, se mueven con el transcurrir del tiempo. El movimiento de estas rocas puede causar terremotos.

Fase lítica (somera) y lítica profunda. Capa de roca dura y continua o un conjunto de trozos de roca muy abundantes que impiden la penetración de las raíces.

Fase pedregosa. Se refiere a la presencia de fragmentos de roca mayores de 7.5 cm de largo en la superficie del terreno o cerca de ella.

Hidrología isotópica. Es una técnica nuclear que utiliza isótopos estables y radiactivos existentes en el medio ambiente –tanto de origen natural como artificial- para caracterizar el comportamiento dinámico del agua en el ciclo hidrológico o en aquellos procesos de la ingeniería en los cuales se le utiliza. Los isótopos ambientales del hidrógeno y del oxígeno, incorporados de manera natural en las moléculas del agua, pueden utilizarse para investigar la naturaleza de los recursos hídricos.

Holístico. Holístico es relativo al holismo y este es la doctrina que propugna la concepción de cada realidad como un todo distinto de la suma de las partes que lo componen.

Microcuenca. Cuenca pequeña, por lo general menor de 6 mil hectáreas, que se delimita considerando la cartografía Hidrológica de Aguas y Superficiales del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (Inegi), escala 1:250,000; se hace referencia con base en la nomenclatura de Región Hidrológica, Cuenca y Subcuenca, y se denomina de acuerdo con la clasificación nacional de microcuencas o con el nombre de la corriente principal que la drena.

Nido de neotoma. El género *Neotoma* comprende unas 20 especies de roedores de Norteamérica conocidos como Packrat o Woodrat. Los miembros de este género viven en cuevas cuya entrada protegen con acumulación de materiales que encuentran en su entorno. Estas acumulaciones son cementadas con la orina viscosa de las ratas, que en regiones áridas, cristaliza formando “amberat”. Se han encontrado nidos de hasta 50,000 años que es el límite de las dataciones radiocarbónicas. Los materiales biológicos utilizados por estos roedores incluyen hojas, ramas, huesos, escamas, etc.

Nivel estático. Profundidad a la que se encuentra la superficie del agua subterránea, a partir del terreno (nivel de reposo).

- Núcleo de hielo.** Es una muestra cilíndrica de hielo, que se obtiene mediante la perforación del sustrato a diferentes profundidades. Los resultados de su análisis constituyen potentes indicadores de hechos de pasado.
- Ortofoto.** La ortofoto (del Griego Orthós. correcto, exacto) es una presentación fotográfica de una zona en la superficie terrestre, donde todos los elementos presentan la misma escala, libre de errores y deformaciones, con la misma validez de un plano cartográfico. También se dice que es una imagen corregida geométricamente trasladándole de una proyección central a una proyección ortogonal y referida dentro de un marco cartográfico.
- Orto-rectificación.** Es un proceso computacional por el que se eliminan de las imágenes las distorsiones horizontales y verticales principalmente debidas al relieve. Este proceso mejora de forma espectacular la calidad y utilidad de la imagen porque le otorga las mismas cualidades que posee un mapa.
- Pixel.** La parte más pequeña de la pantalla del monitor es un punto cuadrado o rectangular que recibe el nombre de píxel. La palabra píxel surge de la combinación de dos palabras inglesas comunes, picture (imagen) y element (elemento). Un píxel se describe de forma más correcta como una unidad lógica, y no física, ya que el tamaño físico de un píxel individual lo determina el fabricante del monitor. El tamaño de un píxel se mide en milímetros (mm).
- Región hidrológica.** Porción de territorio en el que se encuentran aguas superficiales (ríos).
- Rumbo.** Dirección considerada en el plano del horizonte, y principalmente cualquiera de las comprendidas en la rosa de los vientos. Precisamente la palabra procede del latín *hombus* (rombo), que son las formas geométricas que unidas señalan las diferentes direcciones posibles en la rosa de los vientos.
- Sedimento lacustre.** Tipo de material sólido acumulado sobre la superficie terrestre que se forma a lo largo de un lago. Los sedimentos lacustres son utilizados como registros de las condiciones paleoambientales debido a su alto grado de continuidad depositacional y alta tasa de acumulación de sedimentos.
- Sensor multiespectral.** Recogen simultáneamente datos de diferentes bandas espectrales. Las mediciones sobre diferentes zonas del espectro electromagnético, aportan una amplia información sobre distintos aspectos del medio ambiente. Por ejemplo, la radiación ultravioleta se utiliza para monitorizar los niveles de ozono en las capas altas de la atmósfera. Las bandas visible e infrarrojas permiten determinar la salud de la cubierta vegetal (cultivos, bosques). Los captadores sensibles a la radiación infrarroja térmica sirven para determinar la temperatura del suelo, de las nubes, y de la superficie de los mares.
- Sensores remotos.** Son sistemas de adquisición de información de la superficie terrestre, soportados sobre diferentes tipos de plataformas (terrestres, aéreas o satelitales), funcionan a través de la captura de la energía reflejada o radiada por la superficie, ya sea emitida por el sol (sensores pasivos) o por el mismo sensor (sensores activos). Los productos que se obtienen al emplear estas herramientas son diversos y de diferentes especificaciones, entre ellos los más conocidos son las fotografías aéreas y las imágenes de satélite. Los

datos obtenidos se emplean como herramientas en las ciencias sociales, naturales, en la planeación, entre otros.

Subcuencas. Cada uno de los cauces importantes tiene corrientes alimentadoras que se forman con las precipitaciones que caen sobre sus propios territorios de drenaje a las que se les llama subcuencas.

Sustentabilidad ambiental. Se refiere a la administración eficiente y racional de los recursos naturales, de manera tal que sea posible mejorar el bienestar de la población actual sin comprometer la calidad de vida de las generaciones futuras.

Unidad geohidrológica. Material (roca o suelo) o conjunto de materiales, cuyas características fisicoquímicas les permiten, en diferente grado, almacenar y transmitir el agua subterránea.

Vertiente. Declive de una montaña o conjunto de declives en una cordillera por donde corren las corrientes de agua de algunos ríos que van a desembocar al mar, lagos, lagunas u otros ríos.



Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Centros Nacionales de Investigación Disciplinaria, Centros de Investigación Regional y Campos Experimentales



- Sede de Centro de Investigación Regional
- Centro Nacional de Investigación Disciplinaria
- Campo Experimental

Comité Editorial del CENID-RASPA

Presidente: Dr. José Antonio Cueto Wong

Secretario: Dr. Miguel A. Velásquez Valle

Vocales: Dr. Juan Estrada Ávalos
M. C. Miguel Rivera González

Revisores Técnicos

Dr. Ernesto Alonso Catalán Valencia

Dr. Rodolfo Jasso Ibarra

Edición y diseño:

M. C. Aleida Hernández Antúnez

Ing. Alan J. Servín Prieto

Lic. Leticia Zamora Téllez

La presente publicación se terminó de imprimir en Diciembre de 2010 en la imprenta Carmona, Impresores. Calzada Lázaro Cárdenas No. 850, Col. Eduardo Guerra, Torreón, Coahuila.

Su tiraje fue de 500 ejemplares

**CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DISCIPLINARIA
RELACIÓN AGUA-SUELO-PLANTA-ATMÓSFERA**

DR. JOSÉ ANTONIO CUETO WONG

Director

ING. ARMANDO ESTRADA GONZÁLEZ

Jefe de Operación

LIC. FLOR CARINA ESPINOZA DELGADILLO

Jefe Administrativo

PERSONAL INVESTIGADOR

Investigador	Red de Investigación e Innovación
Catalán Valencia Ernesto Alonso	Modelaje
Cerano Paredes Julián	Servicios Ambientales
Constante García Vicenta	Servicios Ambientales
Estrada Ávalos Juan	Agua y Suelo
González Barrios José Luis	Agua y Suelo
González Cervantes Guillermo	Agua y Suelo
Inzunza Ibarra Marco Antonio	Agua y Suelo
Macías Rodríguez Hilario	Agua y Suelo
Muñoz Villalobos Jesús Arcadio	Agua y Suelo
Potisek Talavera María del Carmen	Agua y Suelo
Rivera González Miguel	Agua y Suelo
Trucíos Cacicano Ramón	Agua y Suelo
Valenzuela Núñez Luis Manuel	Servicios Ambientales
Velazquez Valle Miguel Agustín	Modelaje
Villa Castorena María Magdalena	Agua y suelo
Villanueva Díaz José	Servicios Ambientales

www.gobiernofederal.gob.mx
www.sagarpa.gob.mx
www.inifap.gob.mx
www.bicentenario.gob.mx